

**CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA Y MICROBIOLÓGICA DE LOS LODOS PRESENTES EN
LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES (PTARI) DE LA
EMPRESA JUGOS HIT DE LA CIUDAD DE PEREIRA**

**JULIANA GALVIS TORO
XIMENA RIVERA GUERRERO**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
FACULTAD DE TECNOLOGÍAS
ESCUELA DE QUÍMICA
PEREIRA
2013**

**CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA Y MICROBIOLÓGICA DE LOS LODOS PRESENTES EN
LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES (PTARI) DE LA
EMPRESA JUGOS HIT DE LA CIUDAD DE PEREIRA**

TRABAJO DE GRADO

Requisito final para optar al Título de Tecnólogo en Química

JULIANA GALVIS TORO

XIMENA RIVERA GUERRERO

Director

LILIANA BUENO LOPEZ

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
FACULTAD DE TECNOLOGÍAS
ESCUELA DE QUÍMICA
PEREIRA
2013**

AGRADECIMIENTOS

Agradezco infinitamente a Dios por darme la oportunidad de tener la vida que tengo, disfrutar tanto de lo que hago y llevarme por el camino indicado mientras estoy en la lucha continúa de lo que tanto deseo para mi vida.

A mi Familia, especialmente a mis Padres por apoyarme día a día mientras lucho por mis propósitos dándome en todo momento una palabra de aliento para no dejarme caer ante las adversidades que se han presentado en la lucha de los mismos.

A Rafael Rodríguez por la confianza depositada en mi, los consejos dados siempre con el fin de fortalecerme como persona y como profesional y sobre todo por el conocimiento transmitido durante este largo camino en busca de mis sueños.

A Liliana Bueno, porque a pesar de las circunstancias en todo momento se mostro totalmente apersonada del tema y con la mejor disposición de ayuda y mejora hacia nuestro trabajo.

A mi compañera tesista Ximena Rivera por ser esa mano amiga durante este largo periodo mientras luchábamos incansablemente por alcanzar tan anhelada meta.

A mis Amigos por convertirse en ese apoyo incondicional a nivel emocional y profesional estando presentes en los momentos más oportunos con la mejor actitud y brindándome todo su amor.

A toda la Escuela de Química en general, profesores y administrativos por brindarnos la oportunidad de trabajar en las instalaciones de la misma para llevar a cabo cada una de las fases de nuestro trabajo y dándonos ese apoyo moral para que culmináramos con éxito esta importante etapa en nuestras vidas.

Juliana Galvis Toro.

Quiero agradecer principalmente a Dios por darme la vida, la inteligencia, la fortaleza y la perseverancia que ha hecho de mí una persona íntegra; lo cual permitió dar el máximo de mí.

A mis padres por su comprensión y apoyo en momentos difíciles, gracias a sus enseñanzas he podido enfrentar las adversidades, sin perder nunca la dignidad ni desfallecer en el intento.

A Rafael Rodríguez quien fue el gestor del trabajo y pieza fundamental en el desarrollo de éste. Dedicó incondicionalmente gran parte de su tiempo libre, aportando su amplio conocimiento académico- científico, resaltando siempre los valores éticos y profesionales en el trabajo realizado.

A Liliana Bueno que sin pensarlo ni un momento aceptó colaborarnos en la culminación de este trabajo, brindándonos su apoyo y conocimiento, y dando siempre lo mejor de sí.

A Juliana Galvis que más que mi compañera de este trabajo es mi amiga, por su comprensión y colaboración en todo momento.

A Juan Diego Castaño que es mi apoyo incondicional y que siempre estuvo allí compartiendo mis alegrías y tristezas.

A mis amigos, por su acompañamiento y cariño en el transcurso de mi carrera.

A los profesores, por compartir sus conocimientos que crearon las bases para nuestro futuro profesional.

A la escuela de química y al laboratorio de microbiología de la Universidad Tecnológica de Pereira por brindarnos y facilitarnos los materiales y reactivos para poder desarrollar satisfactoriamente nuestro trabajo de grado, el cual nos permite culminar una etapa muy importante tanto en nuestras vidas como en nuestra profesión.

Ximena Rivera Guerrero.

TABLA DE CONTENIDO

Pág.

INDICE DE FIGURAS

INDICE DE IMÁGENES

INDICE DE TABLAS

INDICE DE GRÁFICAS

1. RESUMEN

2. INTRODUCCIÓN

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

4. JUSTIFICACIÓN

5. OBJETIVOS

5.1 Objetivo General

5.2 Objetivos Específicos

6. MARCO TEORICO

6.1 Generalidades de las Aguas Residuales

6.2 Propiedades, contaminantes presentes y efectos producidos por los contaminantes en las Aguas Residuales

6.3 Tratamiento de Aguas

6.4 Diferencias entre los tratamientos de aguas

6.4.1 Digestión Anaerobia

6.4.2 Digestión Aerobia

6.4.3 Ventajas y desventajas de los procesos de Digestión Anaerobia y Digestión Aerobia

6.5 Lodos

6.6 Producción de lodos

6.7 Parámetros fisicoquímicos evaluados en los lodos

6.7.1 Medición de pH

6.7.2 Alcalinidad

6.7.3 Acidez

6.7.4 Humedad

6.7.5 Cenizas

6.7.6 Demanda Química de Oxígeno – DQO

6.7.7 Demanda Bioquímica de Oxígeno – DBO

- 6.8 Parámetros microbiológicos evaluados en los lodos
 - 6.8.1 Microorganismos Mesófilos Aerobios
 - 6.8.2 Coliformes totales y fecales
 - 6.8.3 Mohos y Levaduras
 - 6.8.4 *Clostridium Sulfito Reductor*
 - 6.8.5 *Salmonella sp*
 - 6.8.6 *Pseudomonas sp*
 - 6.8.7 Bacterias Metanogénicas
- 6.9 Características del Reactor
- 6.10 Biosólidos
- 6.11 Definiciones de Biosólidos
 - 6.11.1 Lodos clase A
 - 6.11.2 Lodos clase B
 - 6.11.3 Lodos clase C
- 6.12 Procesos de eliminación de biosólidos
 - 6.12.1 Oxidación húmeda
 - 6.12.2 Incineración
- 6.13 Alternativas de aprovechamiento de los lodos
 - 6.13.1 Ventajas y desventajas de las alternativas de aprovechamiento de los lodos
- 6.14 Normatividad de biosólidos

7. METODOLOGÍA

- 7.1 Análisis fisicoquímico
 - 7.1.1 Propiedades organolépticas
 - 7.1.2 Medición de pH
 - 7.1.3 Alcalinidad
 - 7.1.4 Acidez
 - 7.1.5. Humedad
 - 7.1.6. Cenizas
 - 7.1.7. Demanda Química de Oxígeno – DQO
 - 7.1.8. Demanda Bioquímica de Oxígeno – DBO
- 7.2 Análisis microbiológico
 - 7.2.1. Microorganismos Mesófilos Aerobios
 - 7.2.2. *Clostridium Sulfito Reductor*
 - 7.2.3. Mohos y levaduras
 - 7.2.4. Coliformes totales y fecales
 - 7.2.5. *Salmonella sp*
 - 7.2.6. *Pseudomonas sp*

8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

8.1. Parámetros fisicoquímicos

8.1.1 Medición de pH

8.1.2 Alcalinidad

8.1.3 Acidez

8.1.4 Humedad

8.1.5 Cenizas

8.1.6 Demanda Química de Oxígeno – DQO

8.1.7 Demanda Bioquímica de Oxígeno – DBO

8.2 Parámetros microbiológicos

8.2.1 Microorganismos Mesófilos Aerobios

8.2.2 Mohos y levaduras

8.2.3 Coliformes totales

8.2.4 Coliformes fecales

8.2.5 *Salmonella sp*

8.2.6 *Pseudomona sp*

8.2.7 *Clostridium Sulfito Reductor*

9. ALTERNATIVA PROPUESTA PARA DISPOSICION DE LOS LODOS GENERADOS EN EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES

10.CONCLUSIONES

11.RECOMENDACIONES

12.REFERENCIAS

13.ANEXOS

1 Tabla de NMP usando tres tubos por dilución

2. Tablas de Resultados

2.1 Resultados para la prueba de pH

2.2 Resultados para la prueba de alcalinidad

2.3 Resultados para la prueba de acidez

2.4 Resultados para la prueba de humedad

2.5 Resultados para la prueba de cenizas

2.6 Resultados para la prueba de Demanda Química de Oxígeno

2.7 Resultados para la prueba de Demanda Biológica de Oxígeno

2.8 Resultados para la medición de Oxígeno disuelto inicial y Oxígeno disuelto residual

2.9 Resultados para la prueba de Microorganismos Mesófilos Aerobios

2.10 Resultados para la prueba de Mohos y Levaduras

3. Preparación de medios de cultivo

INDICE DE FIGURAS

Pág.

Figura 1. Tratamiento general de las Aguas Residuales

Figura 2. Tratamiento de Aguas Residuales por parte de la Empresa

Figura 3. Producción de lodos en un Reactor Anaerobio

Figura 4. Dimensiones de un Reactor Anaerobio de una Empresa de La Ciudad de Pereira.

INDICE DE IMÁGENES

Pág.

Imagen 1. Válvulas de salida del Reactor Anaerobio de una Empresa de la Ciudad de Pereira.

Imagen 2. Medición de pH.

Imagen 3. Medición de pH.

Imagen 4. Determinación de Alcalinidad.

Imagen 5. Determinación de Alcalinidad.

Imagen 6. Determinación de Acidez.

Imagen 7. Determinación de Acidez.

Imagen 8. Determinación de humedad, capsulas en la estufa.

Imagen 9. Determinación de humedad, capsulas en el desecador.

Imagen 10. Determinación de cenizas, crisoles en la mufla.

Imagen 11. Determinación de cenizas, crisoles en el desecador.

Imagen 12. Determinación de DQO.

Imagen 13. Tubos para la determinación de DQO en el DQO metro.

Imagen 14. Determinación de DBO.

Imagen 15. Determinación de DBO, en incubadora de 20°C.

Imagen 16. Microorganismos mesófilos aerobios – Válvula 4, Dilución 10^{-3} en muestreo 2.

Imagen 17. Microorganismos mesófilos aerobios – Válvula 1, Dilución 10^{-1} en muestreo 4.

Imagen 18. Mohos y Levaduras – Válvula 1, Dilución 10^{-2} en muestreo 2.

Imagen 19. Mohos y Levaduras – Válvula 1, Solución madre en muestreo 3.

Imagen 20. Determinación de CT, tubos de la Válvula 2 en el muestreo 2.

Imagen 21. Determinación de CT, tubos de la Válvula 1 en el muestreo 3.

- Imagen 22.** Determinación de CF, tubos de la Válvula 3, Serie 1, muestreo 2.
- Imagen 23.** Determinación de CF, tubos de la Válvula 3, Serie 2, muestreo 2.
- Imagen 24.** Determinación de *Salmonella sp* en Agar XLD Xilosa-Lisina-Desoxicolato.
- Imagen 25.** Determinación de *Salmonella sp* en Agar Shiguella-Salmonella.
- Imagen 26.** Determinación de *Pseudomona sp*, Válvula 1.
- Imagen 27.** Determinación de *Pseudomona sp*, Válvula 3.
- Imagen 28.** Determinación de *Clostridium Sulfito Reductor*, Válvula 2, Dilución 10^{-1} .
- Imagen 29.** Determinación de *Clostridium Sulfito Reductor*, Válvula 1, Dilución 10^{-1} .

INDICE DE TABLAS

Pág.

Tabla 1. Propiedades, contaminantes presentes y efectos producidos por los contaminantes en las aguas residuales.

Tabla 2. Ventajas y desventajas de los procesos de digestión anaerobia y digestión aerobia.

Tabla 3. Ventajas y desventajas de las alternativas de aprovechamiento de los lodos.

Tabla 4. Variaciones en cada uno de los muestreos realizados

Tabla 5. Reporte para Demanda Química de Oxígeno por parte de la Empresa en los días de muestreo

Tabla 6. Resultados para el Análisis de Coliformes Totales.

Tabla 7. Resultados para el Análisis de Coliformes Fecales.

Tabla 8. Resultados para el Análisis de *Salmonella sp.*

Tabla 9. Resultados para el Análisis de *Pseudomona sp.*

Tabla 10. Resultados para el Análisis de *Clostridium Sulfito Reductor*.

INDICE DE GRÁFICAS

Pág.

Gráfica 1. Determinación de pH.

Gráfica 2. Determinación de alcalinidad.

Gráfica 3. Determinación de acidez.

Gráfica 4. Determinación de humedad.

Gráfica 5. Determinación de cenizas.

Gráfica 6. Determinación de Demanda Química de Oxígeno.

Gráfica 7. Determinación de Demanda Biológica de Oxígeno.

Gráfica 8. Determinación de Microorganismos Mesófilos Aerobios.

Gráfica 9. Determinación de Mohos y levaduras.

INDICE DE ESQUEMAS

Pag.

Esquema 1. Metodología para la determinación de pH.

Esquema 2. Metodología para la determinación de Alcalinidad.

Esquema 3. Metodología para la determinación de Acidez.

Esquema 4. Metodología para la determinación de Humedad.

Esquema 5. Metodología para la determinación de Cenizas.

Esquema 6. Metodología para la determinación de Microorganismos mesófilos aerobios, *Clostridium Sulfito reductor* y Mohos y Levaduras.

Esquema 7. Metodología para la determinación de Coliformes Totales y Fecales.

Esquema 8. Metodología para la determinación de *Salmonella sp.*

Esquema 9. Metodología para la determinación de *Pseudomonas sp.*

1. RESUMEN

El presente trabajo se realiza con la finalidad de caracterizar fisicoquímica y microbiológicamente los lodos presentes en la planta de tratamiento de aguas residuales industriales (PTARI) de la Empresa Jugos HIT de la ciudad de Pereira. Dicha caracterización surge de la necesidad de establecer la calidad de los lodos generados en el proceso, ya que posteriormente estos son utilizados en algunas superficies para dar valor agregado a los mismos después de terminado el proceso y determinar el uso posterior dependiendo de la carga microbiana que estos contienen debido al proceso en el que se encuentran relacionados

Para dar cumplimiento a este proceso investigativo se realizaron ensayos como: evaluación de propiedades organolépticas, pH, alcalinidad, acidez, humedad, cenizas, demanda química de oxígeno, demanda bioquímica de oxígeno, microorganismos mesófilos aerobios, mohos y levaduras, coliformes totales, coliformes fecales, *Salmonella sp*, *Pseudomona sp*, *Clostridium sulfito reductor*. Para la determinación de los diferentes ensayos microbiológicos en cada uno de estos debían tenerse consideraciones diferentes principalmente en factores como temperatura y tiempo de incubación.

Con los resultados obtenidos en pruebas realizadas como microorganismos mesófilos aerobios, Coliformes totales, y *Salmonella sp*. y analizando el proyecto de decreto en Colombia por parte del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, se podrá establecer la categoría en la que se encuentran dichos lodos y así saber los usos, beneficios y precauciones que se deben tener con los mismos al momento de pensar en un valor agregado para estos.

Los valores agregados empleados con más frecuencia después de un tratamiento previo a los lodos son: fertilizantes, mejoradores de suelos, compostaje y producción de ladrillos.

Palabras claves: Lodos, caracterización, parámetros fisicoquímicos, parámetros microbiológicos, tratamiento, agua residual, valor agregado.

2. INTRODUCCIÓN

Para beneficio de la humanidad, se han creado alternativas que permitan satisfacer necesidades básicas, es así como se han constituido miles de industrias con diferentes enfoques pero siempre con el mismo objetivo, satisfacer las necesidades es del hombre. Sin embargo, dichas industrias generan contaminación en la búsqueda de dicho objetivo, principalmente contaminación del aire, del suelo, del agua hasta visual y es allí donde surge la necesidad de crear diferentes medios de eliminación o reducción de estos, como es el caso de las plantas de tratamiento de aguas residuales, en las cuales se generan Lodos durante el proceso para facilitar la remoción de impurezas del agua que pueden ser generadas en procesos industriales o domésticos.

El presente proceso de investigación aplicada consta de la caracterización fisicoquímica y microbiológica de los lodos presentes en la Planta de tratamiento residual industrial de una Empresa en la Ciudad de Pereira, basándose en la recopilación, análisis y comparación de los resultados obtenidos con los disponibles sobre el tema en Normativas y Reportes en la literatura por diferentes autores, para posteriormente proponer alternativas de uso de los lodos evaluados.

La idea de desarrollar esta investigación, surge de la necesidad de evaluar la calidad de los lodos generados en el tratamiento de aguas residuales industriales, en este caso, un proceso anaerobio. Las caracterizaciones de los lodos son poco realizadas a nivel nacional e internacional, ya que no existe una Normatividad estricta que exija la regulación de ciertos parámetros que pueden ser evaluados en dicha matriz. Actualmente, para los lodos solo es necesario saber el porcentaje de remoción dentro de los reactores, sean aerobios o anaerobios, porcentaje de metales pesados y presencia o ausencia de Coliformes Totales, *Salmonella sp* y Huevos de Helminto, ya que con estos será fácil de determinar un Perfil del Lodo.

La alternativa propuesta para el tratamiento de los lodos se basa en el filtración para la remoción de carga microbiana, lavado con agua destilada, secado al sol en estelas, este proceso considera que puede tener una duración de 2 semanas aproximadamente.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En las plantas de tratamiento de aguas residuales, que tienen como principio de funcionamiento sistemas aerobios y anaerobios, en muchas ocasiones es implementado el uso de Lodos para lograr la eficiencia del tratamiento de las aguas. Este lodo se caracteriza por la conversión de materia orgánica a Metano y Dióxido de Carbono, en ausencia de oxígeno y con la interacción de microorganismos que facilitan el proceso, [1]. Dicho tratamiento de aguas residuales es normalmente utilizado por las industrias, en las cuales, se busca al finalizar de los procesos una mejor calidad de agua, la que posteriormente desembocara en alguna fuente hidrográfica natural.

Es predominante la falta de concientización ambiental por parte de las industrias, ya que no le dan la suficiente importancia a los efectos negativos que pueden generar el uso posterior de los lodos sin haber realizado análisis previos de tipo fisicoquímicos y/o microbiológicos que permitan conocer su calidad, esto es debido a que en la actualidad de la Normatividad Colombiana no es preciso conocer la compatibilidad de estos con las superficies del medio ambiente en las cuales probablemente pasaran a ejercer algún beneficio, es por esto que se dificulta conocer las características de tipo biológico, físico y químico de los lodos antes de emplearlos o darles su respectivo valor agregado.

Surge la necesidad de analizar el aprovechamiento de la utilización posterior de los Lodos como recuperadores o mejoradores de suelos, para proponer alternativas de valor agregado a los Lodos generados en el Tratamiento de Aguas Residuales de la planta, esto se hará teniendo como referencia un proyecto planteado por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, con el fin de establecer la categoría en la que se encuentran los lodos.

Por lo ya expuesto es concerniente preguntarse:

¿Es posible caracterizar fisicoquímica y microbiológicamente los lodos producidos en la PTARI de la Empresa Jugos HIT de la Ciudad de Pereira con el fin de obtener algún beneficio y/o valor agregado posterior de estos?

4. JUSTIFICACIÓN

Con la evolución constante del hombre, se ha podido observar desde tiempos remotos y hasta nuestra actualidad los cambios que se han presentado para llegar a este punto, donde la sociedad en general se pueda sentir satisfecha de todo aquello que sea considerado como algo que puede proporcionar bienestar y/o placer a las personas que hacen parte del mundo donde habitamos, es debido a esto que diariamente se puede evidenciar el fenómeno del surgimiento de cualquier cantidad de avances científicos y tecnológicos que tienen como único objetivo suplir todas las necesidades que pueda llegar a presentar o simplemente desear una persona del común y corriente en su vida cotidiana, sin que esto implique la incorrecta o inadecuada utilización de los recursos naturales con los que se cuentan, es así como se involucra en nuestra sociedad el término “Desarrollo Sostenible” que se refiere a “Desarrollo que responde a las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras de responder por las suyas, lo que implica no poner en peligro los sistemas naturales que nos permiten vivir: la atmosfera, el agua, los suelos y los seres vivos” [2]

Es por esto que las industrias a nivel mundial día tras día están en la persecución de dos objetivos principales en su labor: una búsqueda de desarrollos biotecnológicos que los puedan posicionar en la cimas más altas de lo que se esté relacionado con el consumo de los bienes y/o servicios que ofrecen a la sociedad; y satisfacer al consumidor y manejar de la manera más adecuada todo lo relacionado con los recursos naturales de los que se disponen y así garantizar bienestar y buena calidad de vida, es así como se debe procurar por “trabajar desde la contextualización, desde la reflexión y desde la integración de saberes. El desarrollo sostenible deberá ser pensado desde una nueva relación entre una cultura científica y una cultura humanística. Desde un respeto por la diversidad desde un lugar donde se pueda aportar a la construcción del conocimiento y a una cultura mas solidaria y respetuosa del hombre y del medio ambiente que lo rodea” [3]

Debido a la cantidad de necesidades que pueda presentar una comunidad y conociendo que los recursos naturales y sus residuos generados en ocasiones deben recibir un tratamiento previo para evitar daños a la salud de la personas, se cuenta con sistemas especiales para este tipo de procesos, como es el caso de las plantas de tratamiento de aguas residuales industriales y domésticas. En estas plantas es tratada el agua residual, este concepto se refiere a “Las aguas de composición variada proveniente de las descargas de usos municipales, industriales, comerciales, de servicios, agrícolas, pecuarios, domésticos, incluyendo fraccionamientos y en general de cualquier otro uso, así como la mezcla de ellas”, [4], su tratamiento se hace indispensable para reducir en un porcentaje considerable la contaminación del medio ambiente o efectos secundarios que pueden ocasionar estas en la sociedad.

Los microorganismos que se encuentran presentes en el Agua para sobrevivir dependen de ciertos factores como la composición del agua residual, las características de la planta y su dimensionamiento, características climáticas y la estacionalidad de los vertidos y volúmenes, [5].

Actualmente existen varios métodos biológicos en el Tratamiento de Aguas Residuales como son Los estanques de Lodos activados, el tratamiento anaerobio y Los humedales artificiales; sin embargo el que ha demostrado tener más eficiencia es el proceso del tratamiento anaerobio ya que tienen la capacidad de capturar las impurezas que están presentes en está produciendo una cantidad de lodos menor a la que es producida con el estanque de lodos activados; “los lodos residuales son un residuo sólido, semisólido o líquido proveniente del tratamiento de agua y están constituidos de microorganismos que remueven la materia orgánica del agua residual que emplean como alimento. Sin embargo, la composición varía en función de las características fisicoquímicas y microbiológicas”, [6].

La importancia de emplear los lodos en una planta de tratamiento de aguas residuales está basada en el hecho de que son de gran utilidad y eficiencia para realizar la separación de cualquier tipo de componentes que pueda presentar el agua a tratar, son rentables, su vida útil es considerablemente larga y no afectan en nada la calidad del agua en la que están haciendo el proceso de remoción de impurezas. El aprovechamiento de estos radica en el hecho de que aparte de ser excelentes removiendo las impurezas del agua pueden servir en otras funciones como la agricultura, silvicultura, recuperación de suelos degradados, mejorar las características físicas y productivas de los suelos, adecuación de zonas verdes, elaboración de abonos, entre otros. [7]

Es evidente la necesidad de recalcar, que la disposición final de estos se debe hacer básicamente para evitar la contaminación de la atmósfera, de otros tipos de aguas y de los suelos y contaminación ambiental, como también para darle un uso beneficioso en superficies como las que se han mencionado anteriormente.

5. OBJETIVOS

5.1 OBJETIVO GENERAL

- Caracterizar Fisicoquímica y Microbiológicamente los Lodos presentes en la Planta de tratamiento residual industrial (PTARI) de la Empresa Jugos HIT de la Ciudad de Pereira.

5.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Determinar las características físicas y químicas de los lodos presentes en la PTARI de la Empresa Jugos HIT de la ciudad de Pereira tales como color, olor, textura, apariencia, pH, humedad, acidez, alcalinidad, cenizas, Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y Demanda Química de Oxígeno (DQO).
- Establecer las características microbiológicas de los lodos presentes en la PTARI de la Empresa Jugos HIT de la ciudad de Pereira, tales como Bacterias mesófilas aerobias, Coliformes totales y fecales, Mohos y levaduras, *Pseudomonas sp*, *Clostridium sulfito reductor* y *Salmonella sp*.
- Proponer alternativas para la posterior utilización de los lodos presentes en la PTARI de la Empresa Jugos HIT de la Ciudad de Pereira.

6. MARCO TEÓRICO

6.1. Generalidades de las Aguas Residuales

El agua es uno de los recursos naturales más fundamentales y diariamente usados en los procesos industriales, actualmente se generan una gran variedad de aguas que pueden tener orígenes muy distintos: agua usada como medio de transporte, usada en procesos de lavado y enjuague, en procesos de transformación químicas usando el agua como disolvente, como subproducto de procesos físicos de filtración o destilación, como medio de transporte de calor, etc. [8]

Es por esto que la generación de aguas residuales es un producto inevitable de la actividad humana. El tratamiento y disposición apropiada de las aguas residuales supone el conocimiento de las características físicas, químicas y biológicas de dichas aguas; de su significado y de sus efectos principales sobre la fuente receptora. [9]

Se define agua residual o agua servida como una combinación de los líquidos y residuos arrastrados por el agua proveniente de casas, edificios comerciales, fábricas e instituciones. [10] Las principales fuentes de aguas residuales son: Aguas domesticas, aguas residuales industriales, aguas de usos agrícolas y aguas pluviales. Aunque la mayor parte de las aguas servidas provienen del uso domestico e industrial. [11]

En general, se consideran *Aguas Residuales Domesticas (ARD)* los líquidos provenientes de las viviendas o residencias, edificios comerciales e institucionales. Se denominan *Aguas Residuales Municipales* los residuos líquidos transportados por el alcantarillado de una ciudad o población y tratados en una planta de tratamiento municipal, y se llaman *Aguas Residuales Industriales* las aguas residuales provenientes de las descargas de industrias de manufactura. También se acostumbra denominar *Aguas Negras* a las aguas residuales provenientes de inodoros, es decir, aquellas que transportan excrementos humanos y orina, ricas en sólidos suspendidos, nitrógeno y Coliformes fecales. Y *Aguas Grises* a las residuales provenientes de tinajas, duchas, lavamanos y lavadoras. [11]

6.2. Propiedades, contaminantes presentes y efectos producidos por los contaminantes en las Aguas Residuales.

	Físicas	Químicas	Biológicas
Propiedades de las AR	Son adquiridas en su mayor parte, según sea el contenido total de sólidos en sus diferentes variantes de materiales flotantes, sustancias coloidales y productos disueltos. [9]	Las propiedades químicas del agua residual son proporcionadas por componentes que podemos agrupar en tres categorías, según su naturaleza: Materia orgánica, Compuestos inorgánicos y componentes gaseosos. [9]	Para la evaluación de las propiedades biológicas de las aguas residuales, se estudia la presencia de microorganismos patógenos transmisores de enfermedades de origen hídrico, así como los niveles de toxicidad en aguas causados por los residuos de origen químico. [10]
Contaminantes presentes en las AR	Son líquidos insolubles o sólidos de origen natural y diversos productos sintéticos que al entrar en contacto con el agua, interfieren en su composición. [10]	Incluyen compuestos orgánicos e inorgánicos disueltos o dispersos en el agua. [10]	Incluyen contaminantes como hongos, bacterias y virus. Algunas materias son inofensivas y otras participan en la degradación de la materia orgánica contenida en el agua. [10]
Efectos producidos por los contaminantes	Como mal olor, cambio de color, enturbiamiento, fermentación, cambio de temperatura. [11]	Como la disminución de la concentración necesaria de oxígeno para la vida acuática. [11]	Como la muerte de las plantas y animales, así como la producción de enfermedades en el hombre. [11]

Tabla 1. Propiedades, contaminantes presentes y efectos producidos por los contaminantes en las AR

6.3. Tratamiento de Aguas

El objetivo de cualquier tratamiento es eliminar los componentes definidos como contaminantes, molestos o con efectos nocivos para el medio ambiente, ajustar la calidad del agua vertida a las especificaciones legales, proteger la salud y promover el bienestar de una sociedad en general. [12]

El retorno de las aguas residuales a nuestros ríos o lagos nos convierte en usuarios directos o indirectos de las mismas, y a medida que crece la población, aumenta la necesidad de proveer sistemas de tratamiento o renovación que permitan eliminar los riesgos para la salud y minimizar los daños al ambiente. El tratamiento de aguas residuales persigue el objetivo de suprimir los agentes patógenos excretados y evitar así la transmisión de enfermedades. [13]

Un sistema de tratamiento de aguas residuales es seleccionado de acuerdo a los objetivos que se fijan al buscar la remoción de los contaminantes. Existen diferentes sistemas de tratamiento que implican procesos biológicos, procesos fisicoquímicos y en ocasiones se presentan ambos. Los sistemas de tratamiento son nombrados de acuerdo al principio de operación, ejemplo, lodos, lodos activados, zanjas de oxidación, lagunas anaerobias, película fija, entre otros. [13]

Cuando se tiene involucrado un sistema de tratamiento de aguas de tipo anaerobio o aerobio se pueden distinguir hasta cuatro etapas, que comprenden los mencionados procesos químicos, físicos y biológicos. [13]

La Empresa Jugos HIT cuenta con plantas de tratamiento de aguas ya que en el funcionamiento de la planta de producción diariamente son generados dos tipos de aguas: aguas domésticas y aguas residuales, las cuales son tratadas de forma diferente en: planta de tratamiento de aguas domésticas (PTAD) y en la planta de tratamiento de aguas residuales industriales (PTARI) respectivamente. Las aguas residuales industriales producen dos tipos de residuos: azucarados y alcalinos:

Los residuos alcalinos son el producto de limpieza y lubricación de maquinaria, y el tratamiento para dichas aguas, consiste en la neutralización con dióxido de carbono.

Por otro lado, los residuos azucarados son el resultado de productos de desecho del jugo final de producción, jugo que se pueda perder en el proceso, desechos del área de llenado, desechos de la sala de preparación, lavadora de botellas y cambio de producción en los tanques. Estas aguas son conducidas a la PTARI y es donde reciben el tratamiento.

Basado en este último proceso y tipo de residuo, es de donde se toman las muestras y se realiza la posterior caracterización.

El tratamiento general para las aguas residuales se divide en cuatro etapas, una seguida de la otra inmediatamente después, empezando por el tratamiento preliminar, seguido del tratamiento primario, tratamiento secundario y finalizando con el tratamiento terciario. A continuación se muestra la figura donde se visualiza de forma general el tratamiento d las aguas.

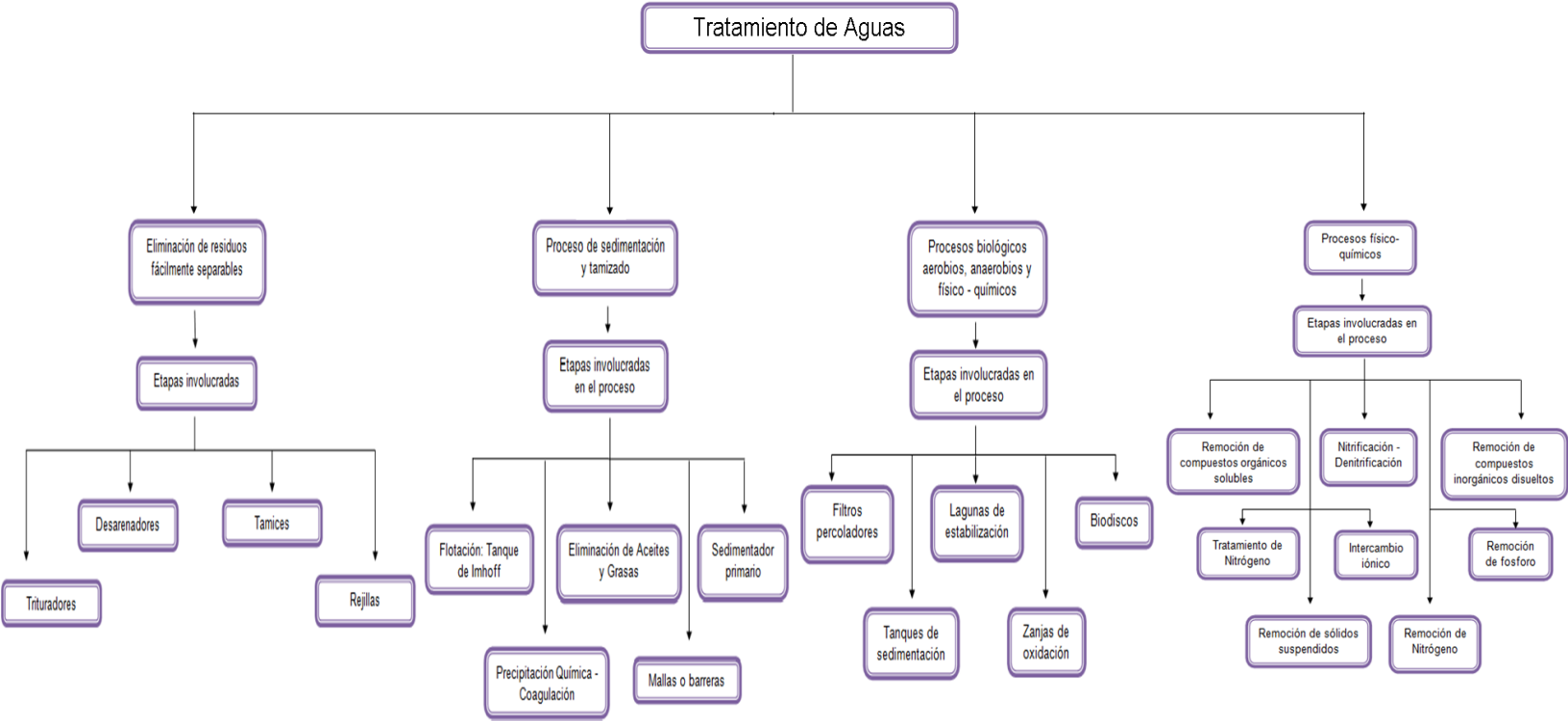


Figura 1. Esquema del Tratamiento de Aguas empleado en la Empresa donde se tomaron las muestras de análisis.

Para el caso particular de la Empresa donde se desarrollo el presente trabajo, se establece el tratamiento de aguas residuales mediante el siguiente esquema:

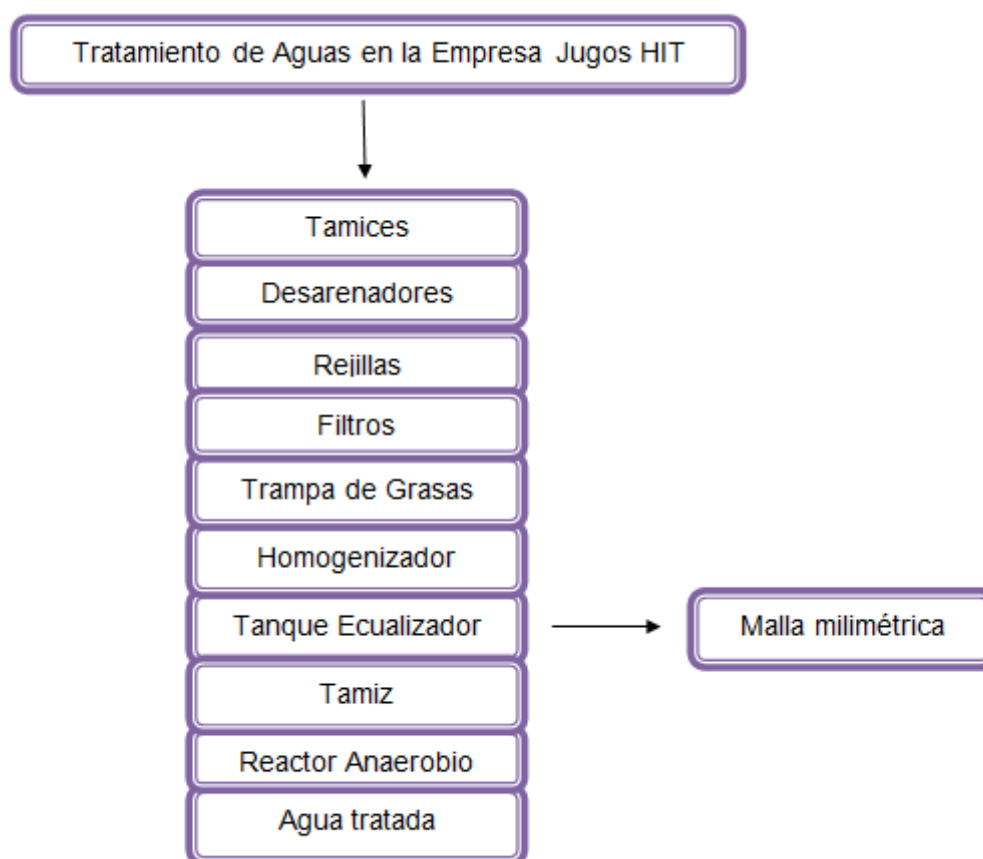


Figura 2. Tratamiento de Aguas Residuales por parte de la Empresa

6.4. Diferencias entre los tratamientos de Aguas Residuales

Para cualquier tipo de tratamiento de aguas, sea mediante un proceso aeróbico o anaeróbico es válida la opción de realizar cada uno de los tratamientos antes mencionados, pero si existen diferencias entre estos, que son:

6.4.1. Digestión anaerobia: Para las aguas residuales con alta carga orgánica (2.000 a 30.000 o más mg DBO/L) la digestión anaerobia puede representar la solución más conveniente. Estas concentraciones se dan generalmente en la Industria agroalimentaria. En un reactor anaerobio, cerrado para evitar el contacto del aire, la materia orgánica soluble y coloidal, se transforma en ácidos volátiles que a su vez, se transforman en metano y dióxido de carbono. Distintos tipos de bacterias producen las fermentaciones ácida y metánica. El gas generado contiene alrededor de un 65% de metano, lo cual permite aprovecharlo para mantener la temperatura idónea en la digestión y disponer de un excedente de energía. [14]

El lodo producido en los procesos de tratamiento de aguas residuales está compuesto de la materia orgánica contenida en el agua residual cruda, en forma diferente, pero también susceptible de descomposición. La digestión de lodos se aplica con el propósito de producir un compuesto final más estable y eliminar cualquier microorganismo patógeno presente en el lodo crudo. El resultado de la digestión es reducir el contenido volátil a cerca del 50% y los sólidos a aproximadamente un 70% de los valores originales. Los sólidos orgánicos remanentes son de naturaleza homogénea, relativamente estables; sin embargo, la deshidratación del lodo digerido es difícil. [15]

En este tipo de digestión se llevan a cabo una serie de procesos microbiológicos, dentro de un recipiente hermético (tanque), dirigidos a la digestión de la materia orgánica con producción de metano. Es un proceso en el que pueden intervenir diferentes tipos de microorganismo pero que está dirigido principalmente por bacterias. Con este tipo de procesos hay una menor producción de lodos cerca de un 20%, en relación con un sistema de lodos activados, no hay necesidad de suministrar oxígeno por lo que hace que el proceso sea más económico y el requerimiento energético es menor. [15]

Este tipo de tratamiento en aguas residuales supone la descomposición de la materia orgánica y/o inorgánica en ausencia de oxígeno molecular.

En este caso los microorganismos causantes de la descomposición de la materia se dividen en dos grupos:

- Bacterias formadoras de ácidos, estas hidrolizan y fermentan compuestos orgánicos complejos a ácidos simples de los cuales los más corrientes son el ácido acético y el ácido propionico.
- Bacterias formadoras de metano, estas convierten los ácidos formados por las bacterias del primer grupo en gas metano y dióxido de carbono. [11]

6.4.2. Digestión aerobia: Es el método más usado en plantas con caudales menores de 19.000 m³/d, 220 L/s para estabilizar su componente orgánico. Este proceso permite reducir la concentración de sólidos volátiles (SV) en un 35-50%. [16]

En el digestor aerobio de aguas residuales habrá tanto oxidación directa de la materia orgánica como respiración endógena de la biomasa o tejido celular. La digestión aeróbica se lleva a cabo aireando los lodos en un campo abierto, similar a uno de aireación en el proceso de lodos activados. [17]

La digestión aerobia es similar al proceso de lodos activados, conforme se agota el suministro de sustrato disponible (alimento), los microorganismos empiezan a consumir su propio protoplasma (respiración endógena) para obtener la energía necesaria para las reacciones de mantenimiento celular. El tejido celular se oxida a dióxido de carbono, amoníaco y agua por vía aerobia. En la práctica solo se puede oxidar entre el 75-80% del tejido celular, puesto que el resto está formado por componentes inertes y compuestos orgánicos no biodegradables. [17]

6.4.3. Ventajas y desventajas de los procesos de digestión anaerobia y digestión aerobia

Tratamiento	Ventajas	Desventajas
Digestión Anaerobia	<ul style="list-style-type: none"> • Importante reducción de sólidos volátiles. • Método más rentable económicamente para plantas que traten por encima de 7500 m³/día. • Buena reducción de microorganismos patógenos. • Lodos utilizables para procesos de agricultura o como fertilizantes. [18] 	<ul style="list-style-type: none"> • Dificultades de limpieza y posible formación de espuma. • Potencial de producción de olores fuertes. • Sobrenadantes con elevadas DBO, DQO, NH₃ y sólidos en suspensión. • Puede presentar problemas de digestión acida. [18]
Digestión Aerobia	<ul style="list-style-type: none"> • El sobrenadante es menos problemático que en caso de los procesos anaerobios. • Control de operación simple. • Buena desinfección del lodo. • Poca generación de olores. • Abundante masa total del lodo. [18] 	<ul style="list-style-type: none"> • Altos costos energéticos • Generalmente menos reducción de sólidos volátiles que el proceso de digestión anaerobia. • Pueden producirse espumas. • Posibilidad de dispersión de patógenos por medio de aerosoles. [18]

Tabla 2. Ventajas y desventajas de los procesos de Digestión Anaerobia y Digestión Aerobia

6.5. Lodos

Los principales constituyentes del agua residual eliminados en las plantas de tratamiento incluyen basuras, arena, espuma y lodo. El lodo extraído y producido en las operaciones y procesos de tratamientos de las aguas residuales generalmente suelen ser un líquido o un líquido – semisólido con gran contenido de sólidos entre 0.25 – 12%. Los procedimientos para tratar los lodos varían según la fuente y el tipo de aguas residuales de las que se derivan, del proceso utilizado para tratar las aguas residuales y del método último de disposición a la que se destinan los lodos. El lodo es, por mucho, el constituyente de mayor volumen eliminado en los tratamientos. Su tratamiento y evacuación es probablemente, el problema más complejo al que se enfrentan los ingenieros sanitarios. El lodo está formado principalmente por las sustancias responsables del carácter desagradable de las aguas residuales no tratadas. La fracción del lodo a evacuar, generada en el tratamiento biológico del agua residual, está compuesta principalmente de materia orgánica y solo una pequeña parte del lodo está compuesta por materia sólida. [19]

Los sólidos separados en el Sedimentador primario y aquellos producidos en el tratamiento biológico deben ser espesados, estabilizados, acondicionados, deshidratados, secados e incinerados antes de ser retirados del sitio de tratamiento. [20]

Todos los lodos crudos tienen un contenido bajo de sólidos (1 – 6%); por ello, la disposición del contenido de estos requiere el manejo de un gran volumen de sólido. El problema principal en el tratamiento de lodos radica, por tanto, en concentrarlos mediante la máxima remoción posible de agua y en reducir su contenido orgánico. Los provenientes de aguas residuales están compuestos en especial por la materia orgánica removida del agua residual, la cual eventualmente se descompone y causa los mismos efectos indispensables del agua residual cruda. [20]

Las características de los lodos varían mucho dependiendo de su origen, su edad, del tipo de proceso del cual provienen y de la fuente original de los mismos. El volumen de lodo que se produce en un tanque de sedimentación debe conocerse o estimarse para cuantificar los diferentes componentes del sistema de tratamiento y disposición de lodos. Dicho volumen depende principalmente de las características del agua residual, del grado de tratamiento previo, del tiempo de sedimentación, de la densidad de sólidos, del contenido de humedad, del tipo de equipo o método de remoción de lodos y de la frecuencia de remoción de los mismos. La cantidad de lodo producido es muy variable, dependiendo del proceso de tratamiento usado y de la concentración de aguas residuales. [20]

En ocasiones podría parecer que algunos de los sistemas biológicos de tratamiento producen, en operaciones normales, una masa de sólidos que representa más del doble de la carga de sólidos ingresada originalmente en la estación depuradora. No obstante, es de anotar que no todos los sólidos que entran a la planta de tratamiento son necesariamente orgánicos y biodegradables. Más de 50% de los sólidos del agua bruta pueden tener naturaleza inorgánica, y hay una pérdida

continúa de sólidos en el efluente de toda la planta que no se suele tomar en cuenta al practicar el respectivo balance de masa. De acá parte la clasificación más general de los lodos, que son:

- Lodos inorgánicos
- Lodos orgánicos [19]

Cuando se habla de procesos de tratamiento biológico de aguas residuales produce distinto tipo de lodos dentro de cada uno de los procesos individuales, como son:

- Lodo primario: es producido durante los procesos de tratamiento primario de las aguas residuales. Esto ocurre después de las pantallas y desarenado y consiste en productos no disueltos de las aguas residuales. La composición del lodo depende de las características del área de recogida de las aguas. Generalmente contiene una gran cantidad de material orgánica, vegetales, frutas, papel, etc. en un estadio inicial de descomposición. La consistencia se caracteriza por ser un fluido denso con un porcentaje en agua que varía entre 92 % y 96 %.[19]
- Lodo activado: La eliminación de la materia orgánica disuelta y los nutrientes de las aguas residuales tiene lugar durante el tratamiento biológico del agua, por un complejo proceso donde interactúan distintos tipos de bacterias y microorganismos, que requieren oxígeno para vivir, crecer y multiplicarse y consumen materia orgánica. El lodo resultante llama lodo activo. Este lodo, generalmente, está en forma de flóculos que contienen biomasa viva y muerta además de partes minerales y orgánicas absorbida y almacenada. El comportamiento de sedimentación de los flóculos de los lodos activos es de gran importancia para el funcionamiento de la planta de tratamiento biológico. Los flóculos deben ser removidos, para separar la biomasa del agua limpia, y el volumen requerido de lodo activo puede ser bombeado de nuevo en el tanque de aireación.[19]
- Lodo activado de retorno: El lodo activo de retorno que proviene del tanque de aireación biológica al clarificador final. Los flóculos de lodo activo sedimentan al fondo y pueden separarse del agua limpia residual. La mayoría del lodo que se lleva de nuevo a tanque de aireación e llama lodo activo de retorno.[19]
- Exceso de lodo, lodo secundario: En el proceso de tratamiento, es conveniente alcanzar una vida del lodo constante, para lograrlo, la biomasa en exceso debe de eliminarse de la planta biológica de tratamiento de lodo. El lodo secundario es rico en lodo activo. [19]
- Lodo terciario: Se produce a través de procesos de tratamiento posteriores, con adición de agentes floculantes. [19]

6.6. Producción de Lodos: El esquema general donde se observan las etapas entre las cuales los lodos son producidos teniendo como principio un Reactor Anaerobio de tipo UASB o con siglas en español (RAFA) Reactor Anaerobio de flujo ascendentes, el siguiente:

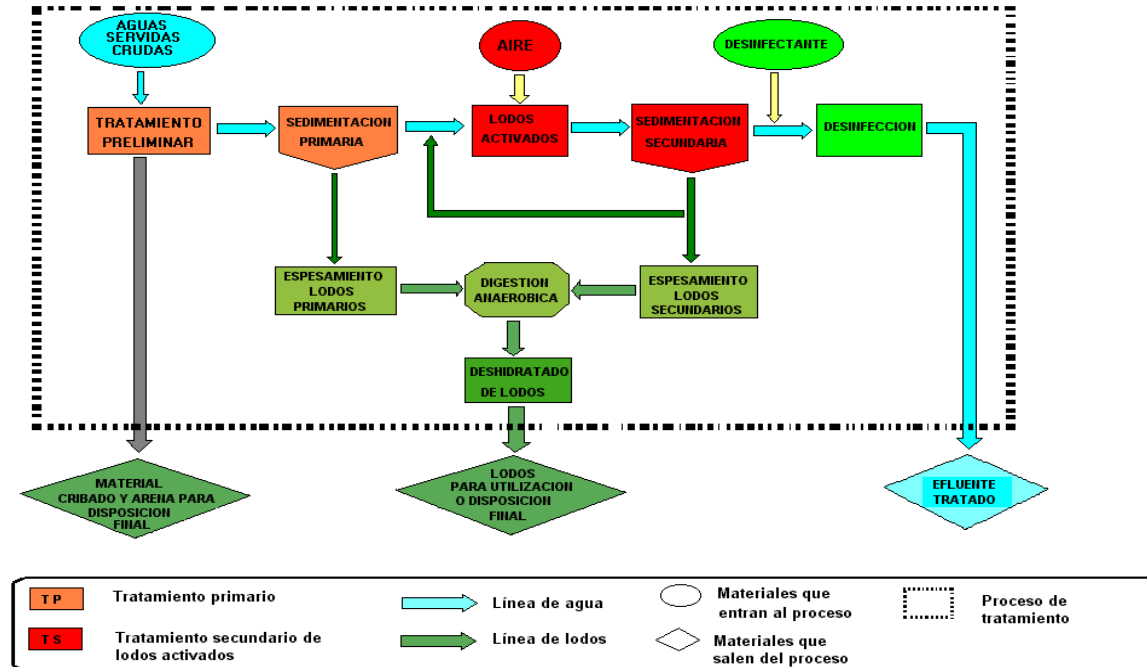


Figura 1: Producción de Lodos en un Reactor Anaerobio – Halcrow 2004

6.7. Parámetros fisicoquímicos relevantes en los Lodos

Al hablar de la calidad de aguas sea para su vertido, tratamiento de depuración, potabilización o cualquier otro uso, es imprescindible determinar una serie de parámetros físico – químicos mediante métodos normalizados, con objeto de conocer si el valor de estos parámetros se encuentra dentro del intervalo que relaciona valores máximos y mínimos permitidos. [las diferentes normas que relacionamos en el trabajo] En el caso del tratamiento de aguas estos parámetros deben ser determinados en los lodos que son generados durante el proceso. [20]

Las metodologías para los parámetros fisicoquímicos que se realizan con mayor frecuencia para determinar la calidad y composición de los lodos, se encuentran referenciados en el Standar Methods, donde relaciona principios de las técnicas, procedimientos, cantidades de reactivos y de muestras, etc.[21]

- 6.7.1. Determinación de pH:** El termino pH es utilizado universalmente para determinar si una solución es acida o básica, es la forma de medir la concentración de iones hidronio de una disolución. La escala de pH contiene una serie de números que varían de 0 a 14, estos valores miden el grado de acidez o basicidad de una disolución. Los valores inferiores a 7 y próximos a 0 indican aumento de acidez, los que son mayores de 7 y próximos a 14 indican aumento de basicidad, mientras que cuando el valor es 7 indica neutralidad.[10]
- 6.7.2. Determinación de Alcalinidad.** La alcalinidad es una medida de la capacidad de una muestra de neutralizar ácidos. La alcalinidad puede generarse por hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos de elementos como el calcio, magnesio, sodio, potasio o de amonio, siendo la causa más común los bicarbonatos de calcio y magnesio.[22]
- 6.7.3. Determinación de Acidez:** La acidez de un agua es su capacidad cuantitativa de neutralizar una base fuerte. La titulación con Hidróxido de Sodio NaOH mide la concentración de ácidos minerales como el ácido sulfúrico, el dióxido de carbono disuelto y de sales de hidrolisis ácida. La acidez se origina en la disolución de Dióxido de Carbono atmosférico, en la oxidación biológica de la materia orgánica o en la descarga de aguas residuales industriales. [22]
- 6.7.4. Determinación de Humedad:** El agua es el único ingrediente que está prácticamente presente en casi todas las materias conocidas, tales como orgánicas e inorgánicas y su cantidad, estado físico y dispersión en estas afectan su aspecto, olor, sabor y textura. Las reacciones químicas y las interacciones físicas del agua y de sus posibles impurezas con otros componentes de los alimentos determinan frecuentemente alteraciones importantes. Cualquier materia en general puede considerarse que está integrada por dos fracciones primarias: *su materia seca* y cierta cantidad de agua o humedad. [22]
- 6.7.5. Determinación de cenizas:** La incineración para destruir toda la materia orgánica de una muestra cambia su naturaleza; las sales metálicas de los ácidos orgánicos se convierten en óxidos o carbonatos o reaccionan durante la incineración para formar fosfatos, sulfatos o haluros y algunos elementos, como el azufre y los halógenos, pueden no ser completamente retenidos en las cenizas perdiéndose por volatilización. En general, las cenizas se componen de carbonatos originados de la materia orgánica y no propiamente de la muestra, la determinación debe cuidando de no sobrepasar la temperatura indicada en la metodología, pues se podrían

descomponer los carbonatos presentes y se volatilizarían otras sustancias como los compuestos de fósforo produciendo resultados erróneos. [22]

6.7.6. Determinación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO): La Demanda Bioquímica de Oxígeno es la capacidad de oxígeno que requieren los microorganismos para oxidar la materia orgánica biodegradable en condiciones aerobias. En condiciones normales, esta demanda se cuantifica a 20°C, el ensayo estándar se realiza a cinco días de incubación y se conoce convencionalmente como DBO/5 se expresa en unidades de mg/L. [10]

6.7.7. Determinación de la Demanda Química de Oxígeno (DQO): La Demanda Química de Oxígeno se usa para medir el equivalente a la materia orgánica oxidable químicamente mediante un agente químico oxidante fuerte, por lo general Dicromato de Potasio, en un medio ácido y a alta temperatura. Para la oxidación de ciertos compuestos orgánicos recientes, se requiere la ayuda de un catalizador como el Sulfato de plata. [10]

6.8. Parámetros microbiológicos relevantes en los Lodos

Por otro lado, está la evaluación de la calidad microbiológica del agua ya que mediante esta se podrá determinar si es apta o no para consumo humano, esto va ligado a la presencia de microorganismos patógenos que puedan estar en ella y ser causantes de diversas clases de riesgos como enfermedades, infecciones, contaminación, entre otros.

Los parámetros microbiológicos más relevantes en los Lodos que se realizan con mayor frecuencia para determinar la calidad y composición de los lodos, la mayoría de estos parámetros se encuentran referenciados en Normas Técnicas y Decretos, como es el caso de los Microorganismo Mesófilos Aerobios, Salmonella, Mohos y Levaduras que se mencionan en la Norma Técnica Colombiana 5167: Productos para la Industria Agrícola, Productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y enmiendas de suelo por otra parte los Coliformes Totales y Fecales se referencian en el Proyecto de Decreto por parte del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial “Por la cual se establecen los criterios de calidad y uso para el aprovechamiento de los biosólidos generados en plantas de tratamiento de aguas residuales municipales para su incorporación al ciclo económico productivo, y se toman otras determinaciones”, estos son:

6.8.1. Microorganismos mesófilos aerobios: El termino mesófilo, se refiere a un organismo cuya temperatura de crecimiento óptima está entre los 15 y los 35°C (un rango considerado moderado). Por el contrario, los organismos que prefieren temperaturas frías se denominan psicrófilos, y los que crecen de forma óptima a altas temperaturas son llamados termófilos. El hábitat de los organismos

mesófilos incluye el suelo, el cuerpo de un animal, etc. Su temperatura óptima de crecimiento se encuentra en los 37 °C, la temperatura normal de un cuerpo humano. [23]

6.8.2. Coliformes totales y fecales: Los coliformes son bacilos cortos que se han definido como bacterias aerobias o anaerobias facultativas que fermentan la lactosa con producción de gas. Las principales especies de bacterias coliformes son el E. Coli y Enterobacter Aerogenes; no obstante, las especies que es posible que se ajusten a estos criterios, son más de veinte. El grupo de coliformes fecales incluye a los coliformes capaces de crecer a temperatura elevada 44.5 o 45°C. Escherichia Coli, la temperatura óptima de crecimiento del microorganismo es de 37°C, con un intervalo de crecimiento de 10 a 40°C. Su pH óptimo de crecimiento es de 7.0 a 7.5 con un pH mínimo de crecimiento de valor de 4.0 y un pH máximo de crecimiento de valor de 8.5. Este microorganismo es relativamente termosensible y puede ser destruido con facilidad a temperaturas de pasteurización y también mediante la apropiada cocción de los alimentos. [23]

6.8.3. Mohos: Los mohos son parte del grupo de los hongos, son heterótrofos, a diferencia de las plantas, estos, se alimentan de materia orgánica muerta o de huéspedes vivos, cuando interactúan como parásitos. Los mohos tienen la capacidad de adaptarse a condiciones del entorno que no todos los microorganismos son capaces de tolerar, como un nivel de acidez o basicidad en un rango mayor que las bacterias. Debido a que viven en condiciones entre 2 - 9 de pH. Su pH óptimo es aproximadamente 5.6, valor que no todas las especies bacterianas soportan. Los mohos se reproducen por medio de esporas, aún cuando su hábitat natural es en humedad, cuando el entorno se reseca los mohos forman esporas y entran en un modo de resistencia, con lo cual logran sobrevivir en ambientes secos. La mayoría de los mohos pueden considerarse mesófilos, es decir crecen bien a la temperatura ambiente. La temperatura óptima para la mayoría de ellos es de unos 25 a 30°C, pero algunos crecen bien a 35-37°C.[23]

6.8.4. Levaduras: Las levaduras son hongos, su forma de reproducción predominante es la gemación. Además se distinguen de las bacterias debido a que su tamaño es mucho mayor que el de las mismas. En general hay más de 300 especies de levaduras conocidas y 39 géneros. La mayor parte de las levaduras comúnmente encontradas crecen mejor en medios en los que dispone de gran cantidad de agua. Pero puesto que muchas levaduras crecen en presencia de

concentraciones de solutos, como azúcar o sal, superiores a aquellas en que crecen la mayoría de las bacterias, debe admitirse que la mayoría de estas levaduras necesitan menos humedad que la generalidad de las bacterias. Sin embargo, en su inmensa mayoría las levaduras requieran más agua que los mohos. El crecimiento de la mayoría de las levadura se ve favorecido por un pH ácido próximo a 4 - 4.5 y no se desarrollan bien en medio alcalino a menos que se hayan adaptado al mismo. Las levaduras crecen mejor en condiciones aeróbicas, si bien las fermentativas pueden hacerlo aunque lentamente, en condiciones anaeróbicas.[23]

6.8.5. *Clostridium sulfito reductor*: Los *Clostridium* son organismos que se observan solo, en parejas o a lo máximo en cadenas cortas. Son móviles por flagelos peritricos. Algunas especies producen cápsula y forman esporas de aspectos esféricos u ovalados, situados en el centro del bacilo o en un extremo subterminal y resistentes al calor. A pesar de ser bacterias anaerobias obligadas, no todos tienen la misma sensibilidad al oxígeno. Crecen a temperatura de 37 °C y a un pH entre 7 y 7,4, de modo que son fácilmente inactivadas a pH ácido o básico. Son fermentadoras de azúcares, aspecto que resulta de utilidad en la diferenciación de las especies.[23]

6.8.6. *Salmonella sp*: La salmonella es un microorganismo que se adapta muy bien a los animales y a las personas. Cuando llega a los alimentos es capaz de multiplicarse en cualquier producto fresco a una velocidad muy elevada, ya que puede duplicar su número cada 15 ó 20 minutos si la temperatura es elevada (superior a 20° C). Sin embargo, posee una escasa capacidad de multiplicación si no existe oxígeno. La temperatura es un factor que influye de forma determinante en la aparición de salmonella. Los extremos no le favorecen: el frío ralentiza su crecimiento, la congelación lo detiene y el calor a partir de 70° C la destruye. Por otra parte, la actividad del agua afecta el crecimiento de esta, y puede sobrevivir por años en diferentes muestras.[23]

6.8.7. *Pseudomonas sp*: Las especies del género *Pseudomonas* es un género de bacilos rectos o ligeramente curvados, son organismos ubicuos, bacterias gram negativas. Este género es uno de los más proclives a la degradación de compuestos orgánicos. El amplio potencial catabólico de los componentes del género viene dado en muchos casos por la presencia de determinantes plasmídicos y transposones autotransmisibles. Las cepas del género *Pseudomonas* son capaces de procesar, integrar y reaccionar a una amplia variedad de condiciones cambiantes en el medio ambiente, y muestran una alta capacidad de reacción a señales físico-químicas y biológicas. Se han descrito cepas capaces de adquirir resistencia a metales pesados, disolventes orgánicos y

detergentes, lo cual les permite explotar una amplia gama de fuentes de carbono como nutrientes. Por ello no es sorprendente que se considere a las bacterias del género *Pseudomonas* un paradigma de versatilidad metabólica, y microorganismos claves en el reciclado de materia orgánica en los compartimentos aeróbicos de los ecosistemas, jugando, por tanto, un papel esencial en la mejora y el mantenimiento de la calidad medioambiental.[23]

6.8.8. Bacterias metanogénicas: Las bacterias metanogénicas son un grupo especializado de bacterias anaerobias obligadas que descompone la materia orgánica y forma metano. El biogás es un gas combustible que se genera en medios naturales o en dispositivos específicos, por las reacciones de biodegradación de la materia orgánica, mediante la acción de microorganismos (bacterias metanogénicas, etc.) y otros factores, en ausencia de oxígeno (esto es, en un ambiente anaeróbico). Este gas se ha venido llamando gas de los pantanos, puesto que en ellos se produce una biodegradación de residuos vegetales semejante a la descrita. [4]

6.9. Características del Reactor: Dentro del análisis planteado para la caracterización de los lodos resultantes del tratamiento de las aguas residuales industriales de la Empresa Jugos HIT de la Ciudad de Pereira y teniendo en cuenta que el proceso se lleva a cabo dentro de un Reactor Anaerobio UASB, este tipo de reactores también son conocidos como RAFA (Reactor anaerobio de flujo ascendente) son un tipo de bioreactor tubular que operan en régimen continuo y en flujo ascendente, es decir, el afluente entra por la parte inferior del reactor, atraviesa todo el perfil longitudinal, y sale por la parte superior [10], se encuentra que las cuatro válvulas del sistema están ubicadas en diferentes distancias dentro de este, lo que implica, que el mayor contacto con la materia orgánica, desechos, nutrientes y micronutrientes lo tiene la Válvula 1 y esta medida va disminuyendo proporcionalmente hasta que la Válvula 4 sea la de menor contacto, sin embargo, la válvula 3 es el intermedio entre la válvula 1 y el vertedero, lo que conlleva a esperar que los resultados de esta muestren que la carga microbiana sea también elevada.

El reactor tiene una altura total de 5,50 metros, teniendo en la parte superior un metro de total hermeticidad evitando cualquier tipo de filtración entre el ambiente y el reactor.



Imagen 1. Válvulas de salida del Reactor Anaerobio la Empresa Jugos HIT de la Ciudad de Pereira – Autoras

Los lodos resultantes del tratamiento de las aguas residuales industriales se pueden considerar como Materia orgánica (Abono) o Material Biosólido, a nivel nacional la normatividad de los lodos se encuentra recopilada en un con Proyecto de Decreto por parte del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial “Por la cual se establecen los criterios de calidad y uso para el aprovechamiento de los biosólidos generados en plantas de tratamiento de aguas residuales municipales para su incorporación al ciclo económico productivo, y se toman otras determinaciones” [26] y la Norma Técnica Colombiana 5167: Productos para la Industria Agrícola, Productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y enmiendas de suelo. [27].

Por otra parte la Empresa no sigue en la actualidad normas internas que especifiquen valores límite de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, por lo que el análisis de resultados se hace únicamente teniendo como referencia las condiciones del Reactor, normatividad colombiana, reportes en la literatura para cada uno de los Microorganismo involucrados en las pruebas y el conocimiento previo adquirido en los diferentes parámetros fisicoquímicos y microbiológicos.

Es de aclarar, que por parte de la empresa no se había llevado a cabo una caracterización que involucrara directamente los lodos, es decir, la calidad, aspectos físicos, químicos y microbiológicos de estos no eran incluidos en sus análisis. Simplemente se enfocaban en realizar prueba al agua entrante y saliente del reactor. Por parte de la Empresa los lodos son eliminados a diario y se depositan en una caneca de volumen considerable, donde después se toman en porciones más pequeñas y se esparcen en las zonas verdes de la Empresa.

6.10. Biosólidos

El Biosólido es un líquido espeso con partículas suspendidas, de color muy oscuro. La gran ventaja de este cuando es usado como abono es que la mayoría de los nutrientes (nitrógeno, fósforo y potasio) inicialmente presente en el material a fermentar se mantienen el aporte de estos puede dar lugar a mayores rendimientos de cultivos y pasturas, en función de las características del ambiente y del manejo agrícola. [7] Estas respuestas en rendimiento pueden ser semejantes a las encontradas con fertilizantes químicos. Sin embargo en todos los casos las respuestas suelen estar limitadas por las condiciones hídricas durante el ciclo del cultivo. Por otro lado, como otros abonos orgánicos, los biosólidos son considerados mejoradores de las propiedades físicas de los suelos, lo cual se hace evidente cuando se usan como enmienda en suelos degradados. [24]

6.11. Definiciones de Biosólidos

Los Biosólidos son definidos por Environmental Protection Agency (EPA) como “residuos sólidos, semisólidos o líquidos generados durante el tratamiento de aguas servidas domiciliarias. Los Biosólidos incluyen las escorias o sólidos removidos durante el tratamiento primario, secundario o avanzado del proceso de tratamiento de aguas servidas y cualquier material derivado de los lodos, excepto las gravillas o cenizas generadas durante el proceso de incineración”. [25]

En la legislación Colombiana se encuentran decretos y normas técnicas que en apartes de su contenido relacionan los Lodos o Biosólidos en algún momento como es el caso de:

- Proyecto de Decreto por parte del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial “Por la cual se establecen los criterios de calidad y uso para el aprovechamiento de los biosólidos generados en plantas de tratamiento de aguas residuales municipales para su incorporación al ciclo económico productivo, y se toman otras determinaciones”: Donde se establecen las categorías A, B y C de los lodos analizados según la presencia de microorganismos como Coliformes Totales, *Salmonella sp* y Huevos de helminto. [26]
- Norma Técnica Colombiana 5167: Productos para la Industria Agrícola, Productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y enmiendas de suelo: Donde se establece a los lodos como Abono orgánico mineral sólido. [27]

La EPA (Environmental Protection Agency) a nivel mundial, usa la palabra “lodo” como sinónimo de Biosólido. Estos están definidos como basura o desecho de residuo semisólido que hayan sido generados en las plantas de tratamiento de aguas. Además hace diferencia entre distintos tipos de lodo. [25]

- 6.11.1. Lodos categoría A:** Lodo sin restricciones sanitarias para la aplicación a suelo. En este punto, la EPA es más específica, al denominarlos Biosólidos de Calidad Excepcional, que son aquellos que son poco contaminantes y tienen reducción de patógenos Clase A y que han reducido el nivel de componentes degradables que atraen vectores (organismos capaces de transportar y transmitir agentes infecciosos tales como roedores, moscas y mosquitos). [25]
- 6.11.2. Lodo categoría B:** Lodo apto para la aplicación al suelo, con restricciones sanitarias de aplicación según tipo y localización de los suelos o cultivos. La EPA los denomina como Biosólidos con concentración de contaminantes y los define como aquellos Biosólidos que también logran los mismos bajos límites de concentración de contaminantes de los de Clase A, pero solo logran una reducción de patógenos clase B y/o están sujetos a la administración en el sitio mismo, más que como una alternativa de tratamiento para reducir vectores. [25]
- 6.11.3. Lodo categoría C:** Lodo que no cumple con algún(o) de los parámetros definidos para las categorías A ó B y que son considerados como residuos peligrosos de acuerdo con la Normativa Ambiental vigente. [25]

6.12. Procesos de eliminación de Biosólidos

6.12.1. Oxidación húmeda: Es un proceso utilizado en la industria para el tratamiento de residuos con bajo calor de combustión tales como efluentes acuosos con reducidas concentraciones de sustancias orgánicas. El principio de este proceso consiste en la oxidación de los contaminantes orgánicos en fase acuosa mediante el oxígeno, a elevada temperatura y presión con producción de dióxido de carbono y productos inocuos (Cheremisinoff, 1989). El origen del mismo se encuentra en la necesidad de hallar un tratamiento que minimice el problema de la generación de lodos procedentes de los procesos de depuración, por medio de la utilización de forma innovadora y eficaz de las técnicas de oxidación ya mencionadas (García, 1993). Mediante este proceso se pueden obtener fuertes reducciones del contenido en sólidos de los lodos producidos así como de la carga contaminante de los mismos (WEF, 1992a).

6.12.2. Incineración: Se puede definir la incineración de los lodos como su destrucción térmica a elevada temperatura en presencia de exceso de aire. Puesto que todo tratamiento de aguas trae asociada inevitablemente la generación de un residuo sólido y el tratamiento de aguas se está generalizando y avanzando técnicamente, cada vez se producen mayores cantidades de Biosólidos que es preciso gestionar de la manera más adecuada posible. En estas circunstancias, la incineración

de los lodos puede ser considerada como una alternativa atractiva si se tiene en cuenta que va a producir una importante reducción del volumen de residuo y éste tendrá, en principio, una notable estabilidad y la ausencia de componente orgánico (Matthews, 1992). [28]

6.13. Alternativas de aprovechamiento para los Lodos

El alto contenido de materia orgánica de los lodos, podría hacer que se consideren a primera vista, los lodos como fertilizantes ideales. Los lodos pierden progresivamente su contenido de nitrógeno y fósforo, según se reduce su contenido de agua, y las producciones de nitrógeno, fósforo y potasio en los sólidos de los lodos resultan bajos, con N y P alrededor de 3%. Se obtendrá el valor fertilizante más alto cuando se utilice también la fase líquida, y esto constituye también un beneficio al reducir la carga de nitrógeno y fósforo sobre la planta de tratamiento. [29]

Los lodos producidos en procesos de tratamiento residual representan una enorme cantidad de biomasa potencialmente valiosa, y se realizan esfuerzos continuos para aprovecharla mejor. La composición de abonos con lodos crudos filtrados proporciona un material orgánico estable, semejante al humus, que se puede utilizar como acondicionador de terreno y como una fuente de nutrientes para las plantas. [30]

Los biosólidos o lodos de plantas de tratamientos de aguas servidas son residuos, nocivos como el arsénico y el mercurio, y otros muy beneficiosos como el nitrógeno y el fósforo. Estos biosólidos, pueden ser nocivos para la salud por la presencia tanto de químicos, virus y bacterias, que pueden causar enfermedades, es por esto que los biosólidos requieren de un manejo adecuado como lo es la neutralización de agentes patógenos, estabilización, filtración y secado previo si es necesario, para prevenir eventuales impactos negativos para la salud humana y para el medio ambiente. [31]

Pero a su vez, estos biosólidos poseen un alto contenido en materia orgánica, los cuales pueden contribuir a mejorar las condiciones físicas de los suelos (CONAMA, 2006) y también poseen un alto contenido energético, el cual está presente tanto en el Biosólido (el lodo residual) como en el biogás (con un alto contenido en gas metano) que genera durante su tratamiento, el cuál puede usarse como combustible a través de la incineración de éste o codisponerse junto a otros que sean fósiles como es el carbón y para la producción de energía. [31]

6.13.1. Ventajas y Desventajas de las alternativas de aprovechamiento para los lodos

Alternativa	Ventajas	Desventajas
Incineración	<ul style="list-style-type: none"> • Los biosólidos son reducidos a cenizas in-situ • La combustión destruye todos los microorganismos presentes y oxida los compuestos orgánicos tóxicos. • Los metales pesados en las cenizas son menos solubles. • Un diseño adecuado puede hacer la incineración económicamente viable. [32] 	<ul style="list-style-type: none"> • De tipo económico dado que es la alternativa más costosa de eliminación de lodos. • Las instalaciones de incineración suelen plantear comúnmente serios problemas de contestación social. [32]
Compostaje	<ul style="list-style-type: none"> • Se obtiene un producto de alta calidad comercializable para su uso en agricultura. • Admite ser combinado con otros procesos y presenta unos costos iniciales bajos. [33] 	<ul style="list-style-type: none"> • Requiere contenidos en sólidos entre el 40 y el 60% así como la incorporación de un agente de textura. • Es preciso disponer de un sistema de aireado a presión o bien de Volteado mecánico, y debido a ello existe una posible dispersión de patógenos a través del polvo. • Precisa la incorporación de otro material como fuente de carbono. [33]
Producción de ladrillos	<ul style="list-style-type: none"> • Eliminación de metales pesados por medio del proceso de cocción. 	<ul style="list-style-type: none"> • Se anula la posibilidad de que exista lixiviación y posterior contaminación a causa de estos metales.

	<ul style="list-style-type: none"> • Se elimina con esta aplicación su potencial de emisión de olores. • Sirven para reforzar la estructura mecánica del ladrillo al quedar incorporados en éste. • Incorporación de materia orgánica, ya que ésta al degradarse y combustionarse durante la cocción, crea una porosidad interna en el ladrillo propiciada por la formación y salida de los gases de descomposición. [34] 	<ul style="list-style-type: none"> • Emisión de olores al secar los ladrillos. • Emisión de gases durante la cocción, ya sean gases inorgánicos u orgánicos volátiles. [34]
Fertilizantes orgánicos	<ul style="list-style-type: none"> • Mejoran las propiedades físicas de los suelos. • Uso especialmente empleado por que fortalece factores de practicidad y economía para tratar los suelos. • Recirculación de los nutrientes del suelo en donde se aplicaron los lodos. • Recuperación de suelos degradados y erosionados. [35] 	<ul style="list-style-type: none"> • La dosis a aplicar depende de las condiciones de Nitrógeno y Fósforo de la superficie involucrada. • Si se aplica en exceso, puede afectar el trabajo de los pesticidas y plaguicidas en los suelos. [35]
Vermiestabilización o Vermicomposteo	<ul style="list-style-type: none"> • Se logra la reducción de microorganismos patógenos, cerca de un 100%. 	<ul style="list-style-type: none"> • Solo debe aplicarse para plantas en las cuales la producción de lodo diario no sea superior a los 60lps [35]

	<ul style="list-style-type: none"> • Alimento de excelente calidad para las lombrices, ya que contiene los nutrientes suficientes para aportar al crecimiento de las mismas. [35] 	
--	--	--

Tabla 3. Ventajas y desventajas de las alternativas de aprovechamiento para los lodos

6.14. Normatividad de Biosólidos

Las regulaciones de biosólidos en el mundo tienen varias consideraciones. Por ejemplo, establecen límites y parámetros en las concentraciones de metales pesados. En EEUU y la UE existen normativas muy similares al respecto, las cuales han sido imitadas en muchos otros países. Principalmente en Europa, se controla la tasa de aplicación (concentración de metales pesados por hectárea). EEUU recomienda calcular las tasas de aplicación teniendo en cuenta el contenido de nutrientes del Biosólido y los requerimientos de los cultivos agrícolas. Adicionalmente, regula otros metales pesados como arsénico, selenio y molibdeno.

La mayoría de normatividades regulan los mismos indicadores de contaminación fecal (coliformes fecales y huevos de helminto), y establecen la necesidad de tratamiento de los lodos (digestión anaeróbica, aeróbica, secado térmico, estabilización química, etc.) para que al ser convertidos en biosólidos puedan ser aplicados al suelo. [36]

A nivel nacional, se destacan algunas normas que en alguno de los apartes de su contenido relaciona los Lodos o Biosólidos en algún momento, como es el caso de:

- Proyecto de Decreto por parte del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial “Por la cual se establecen los criterios de calidad y uso para el aprovechamiento de los biosólidos generados en plantas de tratamiento de aguas residuales municipales para su incorporación al ciclo económico productivo, y se toman otras determinaciones” [26]
- Norma Técnica Colombiana 5167: Productos para la Industria Agrícola, Productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y enmiendas de suelo. [27]
- Decreto 3930 de 2010: Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9ª de 1989, así como el Capítulo II del Título VI – Parte III – Libro II del Decreto-Ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones. [37]

- Decreto 4728 de 2010: Por el cual se modifica parcialmente el Decreto 3930 de 2010. Las modificaciones son:

Que de acuerdo con el artículo 28 del Decreto 3930 de 2010, modificado con el artículo 1 del Decreto 4728 de 2010, corresponde al Ministerio de Ambiente, Viviendo y Desarrollo Territorial, hoy Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, fijar los parámetros y los límites máximos permisibles que deben cumplir los vertimientos a las aguas superficiales, marinas, a los sistemas de alcantarillado público y al suelo asociado a un acuífero. Además, establece que el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, dentro de diez meses, contados a partir de la fecha de publicación del decreto, expedirá las normas de vertimientos puntuales a aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público.

Que de acuerdo con el artículo 29 del Decreto 3930 de 2010, la autoridad ambiental competente con fundamento en el Plan de Ordenamiento del recurso Hídrico – PORH, podrá fijar valores más restrictivos a las normas de vertimiento que deben cumplir los vertimientos al cuerpo de agua o al suelo asociado a un acuífero. Igualmente, la autoridad ambiental competente podrá exigir valores regionales más restrictivos en el vertimiento o realizar exigencias particulares a aquellos generadores que aun cumpliendo con la norma de vertimiento, ocasionen concentraciones en el cuerpo receptor que excedan los criterios para el uso o usos asignados al recurso, debiéndose realizar en todos estos casos los estudios técnicos que lo justifiquen.

Que el artículo 62 del Decreto 3930 de 2010, considera a los planes de Reconversión a Tecnologías Limpias en Gestión de Vertimientos – PRTLGV como un mecanismo facilitador para el cumplimiento de las normas de vertimiento; mecanismo que conforme al numeral 14 del artículo 5 de la Ley 99 de 1993, puede ser objeto de regulación por parte del Ministerio de Ambiente, Viviendo y Desarrollo Territorial, hoy Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, el cual definirá los procedimientos para su implementación y aplicación por parte de los generadores de vertimiento que desarrollan actividades industriales, comerciales o de servicio.[38]

7. METODOLOGÍA

Tipo de Investigación realizada: Investigación Aplicada

Área de Estudio: La toma de Muestra se realiza en la Empresa Jugos HIT de la Ciudad de Pereira y los análisis a éstas se realizan en las Instalaciones de la Universidad Tecnológica de Pereira.

Tiempo de investigación: El tiempo empleado para la elaboración de este proyecto fueron 6 meses aproximadamente.

Muestras: Para la toma de la muestra, a cada una de las válvulas por donde son evacuados los lodos generados en el tratamiento de las aguas dentro del reactor se le realiza una limpieza y desinfección que consta de: Limpieza en la boquilla usando un algodón humedecido con alcohol, seguidamente se flamea con un mechero y para finalizar se realiza una purga, la cual consiste en dejar correr el lodo por 1 minuto aproximadamente.

Las muestras son almacenadas en bolsas resellables o en frascos tapa azul estériles, según se halla preparado el material previamente.

Muestras tomadas: Para realizar los análisis de cada uno de los parámetros mencionados se realizaron varios muestreos:

- **Primer muestreo:** Evaluación de solo parámetros fisicoquímicos.
- **Segundo muestreo:** Evaluación simultánea de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos.
- **Tercer muestreo:** Evaluación simultánea de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos.
- **Cuarto muestreo:** Evaluación simultánea de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos.
- **Quinto muestreo:** Evaluación de parámetros microbiológicos.

Cantidad de la muestra: De cada una de las válvulas se tomaron 500 mL de muestra.

Transporte de la muestra: Se llevan a una nevera portátil con abundante cantidad de hielo y así hasta llegar a las instalaciones de la Universidad. El hielo, se usa para evitar que la actividad metanogénica de la muestra aumente y esta pueda provocar cambios en la composición, apariencia u otras propiedades de las muestras.

Previo a los análisis, la muestra debe ser conservada en nevera a una temperatura de refrigeración de 4°C.

Tratamiento previo de la muestra: Para los análisis la muestra se deja aclimatar, es decir, lograr que la muestra se adapte a las nuevas condiciones que son pasar de una temperatura de

refrigeración a la temperatura ambiente, después de haber salido del reactor, aproximadamente 30 minutos antes de ser sometida a cada uno de los análisis que se realizarán.

Factores a tener en cuenta: Para evitar cualquier tipo de alteración en el procedimiento o en los resultados finales, se identificaron factores influyentes que fueron controlados, tales como:

- Refrigeración de la muestra. (4°C)
- Cantidad de muestra para la evaluación de cada uno de los parámetros.
- Cantidad de reactivos para cada valoración.
- Temperatura y tiempo (dependiendo del análisis).
- Incidencia de la luz.

Características de la muestra:

Muestreo	Fecha	Análisis	Observaciones
1	Agosto 18 2012	Parámetros Fisicoquímicos	Para esta semana en la empresa, fueron descartados dos tambores de materia prima que no fue aprobada en los análisis internos realizada a la misma, esta materia prima no fue aprobada debido a que su contenido de microorganismos patógenos arrojó resultados positivos y al tratarse de la producción de alimentos estos microorganismos no son aceptados ya que pueden contribuir a efectos nocivos para la salud, por esto la materia fue utilizada como alimento para el reactor. Se percibe un olor a materia orgánica en descomposición, textura blanca, color negro intenso.
2	Septiembre 17 2012	Parámetros Fisicoquímicos y Microbiológicos	Para esta ocasión los lodos presentaban un olor más fuerte que la vez anterior, debido a que desde 3 días atrás la planta se encontraba detenida por falta de producción, es decir, los lodos solo se estaban recirculando con agua que mantiene dentro del reactor pero no estaban realizando su

			tratamiento habitual. Se percibe un olor fuerte, textura blanca, color negro intenso.
3	Octubre 1 2012	Parámetros Fisicoquímicos y Microbiológicos	Se observa que la apariencia de los lodos físicamente es la misma pero el olor, es más fuerte que las veces anteriores, ya que desde 4 días atrás no se presentaba ningún tipo de tratamiento debido a que estaban haciendo un modificación en el tanque, lo que implica una acumulación de gases excesiva y producen un olor demasiado fuerte e impregnante. También para esta semana se habían descartado dos tambores con materia prima que resulto no ser apta para la producción, por lo que la falta de actividad y la acumulación de alimento en el reactor, provoco que la materia a evaluar, los lodos, presenta variaciones con respecto a los demás muestreos. Se percibe textura blanda y color negro intenso.
4	Octubre 22 2012	Parámetros Fisicoquímicos y Microbiológicos	En este muestreo se observa que los lodos presentan un olor ligero y no tan fuerte, esto es debido, a que la producción de la empresa en la última semana ha sido constante y en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Industriales ha habido poca actividad. Se percibe en este caso color negro intenso y textura blanda.
5	Noviembre 21 2012	Parámetros Microbiológicos	Para esta ocasión únicamente se hace la evaluación de parámetros microbiológicos debido a que los reactivos necesarios para los

			análisis fisicoquímicos ya se habían agotado, en este caso la muestra presenta un olor un poco fuerte pero tolerable, la producción de la empresa para esta semana fue constante lo que ayudó a la circulación de los lodos en el reactor. La textura es blanda y el color negro intenso característico.
--	--	--	--

Tabla 4. Variaciones en cada uno de los Muestreos realizados.

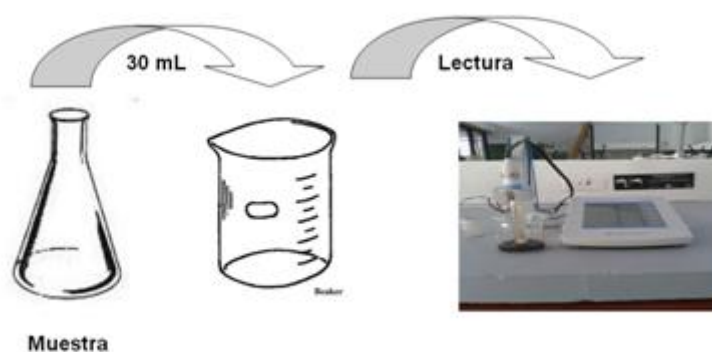
7.1. ANALISIS FISICOQUÍMICO

Determinar las características físicas y químicas de los lodos presentes en la PTARI como: color, olor, textura, apariencia, pH, humedad, acidez, alcalinidad, cenizas, Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y Demanda Química de Oxígeno (DQO).

Este tipo de determinaciones en la Empresa, no las ha realizado anteriormente, ya que la caracterización que ellos llevan a cabo es principalmente a los puntos de entrada y salida del agua, y el tanque ecualizador pero no del lodo como tal; esto debido a que para ellos no es necesario ni lo exige ninguna entidad o normativa nacional tener las características físicas, químicas y biológicas que pueda presentar el lodo. En sus análisis para el lodo cada semestre, incluyen un valoración que es denominada perfil del lodo el cual consiste en la determinación de sólidos suspendidos totales, sólidos suspendidos volátiles y actividad metanogénica, en el se determinan sólidos suspendidos totales, sólidos suspendidos volátiles y actividad metanogénica.

7.1.1. Propiedades organolépticas: Para la evaluación de este parámetro, se tuvo en cuenta las observaciones subjetivas y un común acuerdo entre las analistas. Las pruebas que se tuvieron en cuenta, fueron: Textura, color y olor.

7.1.2. pH: Para la evaluación del pH en cada una de las muestras, se realizó por método potenciométrico. El procedimiento para la determinación de este es tomar aproximadamente 30 mL de muestra llevarlos en un Beaker, introducir el electrodo del pH metro.[28]



Esquema 1. Metodología para la determinación de pH.

7.1.3. Alcalinidad: Para la evaluación de la alcalinidad en cada una de las muestras, en el procedimiento se combinaron técnicas de Potenciometría y Titulación o Valoración. La combinación de las técnicas se realizó debido a que así se podía observar con

más precisión el cambio de la muestra entre lo ácido y lo básico. En el procedimiento para la evaluación se tomaron 50 ml de muestra y son llevados a un Erlenmeyer de 250 mL, se introduce el electrodo de un pH metro, teniendo en cuenta el pH inicial, se comienza a valorar con Ácido Clorhídrico 1N y en el momento que en la pantalla del equipo se observe que la muestra de lodo ya ha tomado un pH básico, el cual está considerado en el rango de 7,1 a 14 unidades de pH; se toma el volumen consumido del titulante y se realizan los cálculos para determinar la alcalinidad de cada una de las muestras.[28]

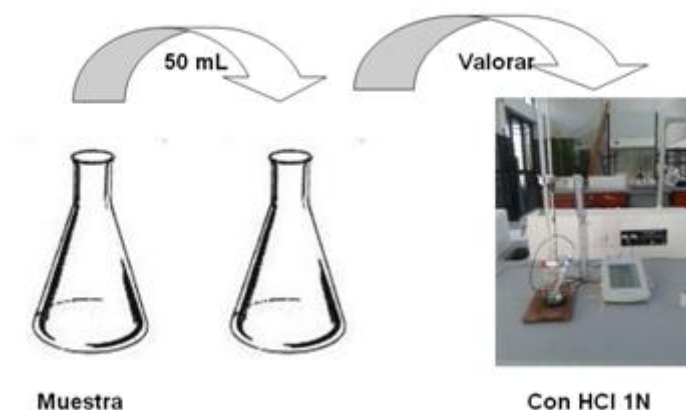
Para los cálculos de alcalinidad se utilizó la fórmula establecida por la empresa, la cual se utiliza en los cálculos realizados habitualmente en la Planta:

$$\text{Alcalinidad} = \frac{\text{Vol. gastado titulante} * N \text{ Titulante} * 1000}{\text{Alicuota de la muestra valorada}} = X \text{ meq/L}$$

Ecuación 1. Cálculo para la determinación de alcalinidad.

Donde:

- **Vol. Gastado titulante:** Acido Clorhídrico (mL)
- **N Titulante:** 1N
- **1000:** Valor utilizado como factor de conversión en la empresa según lo indica la Norma Interna.
- **Alícuota de la muestra valorada:** 50 mL [28]



Esquema 2. Metodología para la determinación de Alcalinidad.

7.1.4. Acidez: Para la evaluación de este parámetro, el procedimiento a seguir es el mismo empleado en la determinación de alcalinidad con la variación de los reactivos usados en la titulación; para este caso es Hidróxido de Sodio 1N.

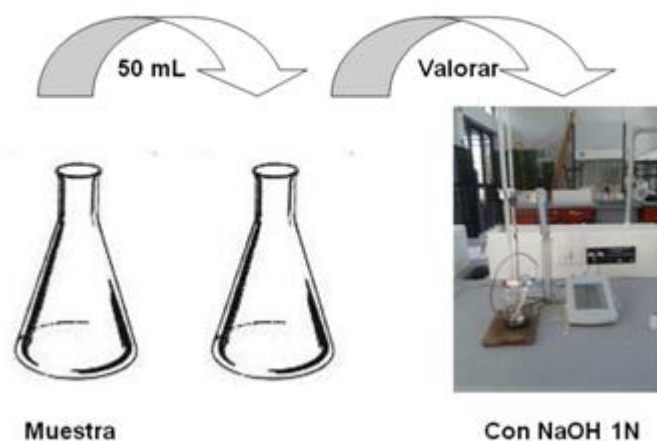
La fórmula empleada para hallar los resultados de esta prueba fue proporcionada por la empresa.

$$Acidez = \frac{Vol. gastado titulante * N Titulante * 1000}{Alicuota de la muestra valorada} = X meq/L$$

Ecuación 2. Cálculo para la determinación de acidez.

Donde:

- **Vol. Gastado titulante:** Hidróxido de Sodio (mL)
- **N Titulante:** 1N
- **1000:** Valor utilizado como factor de conversión en POSTOBON S.A según lo indica la Norma Interna.
- **Alícuota de la muestra valorada:** 50 mL [28].



Esquema 3. Metodología para la determinación de Acidez.

7.1.5. Humedad: La determinación de humedad o sustancias volátiles de la muestra, se basa en la pérdida de peso que sufre la misma después de someterse a un proceso de calentamiento a 105°C [29]. Para determinar la humedad de las muestras se toman 5g, se pasan a una capsula de porcelana, por protocolo se lleva a una estufa que está a 105°C durante 2 horas, después se llevan las cápsulas a un desecador para que no adquieran humedad nuevamente mientras se enfrían, en este momento se pesan obteniendo peso constante.[28]

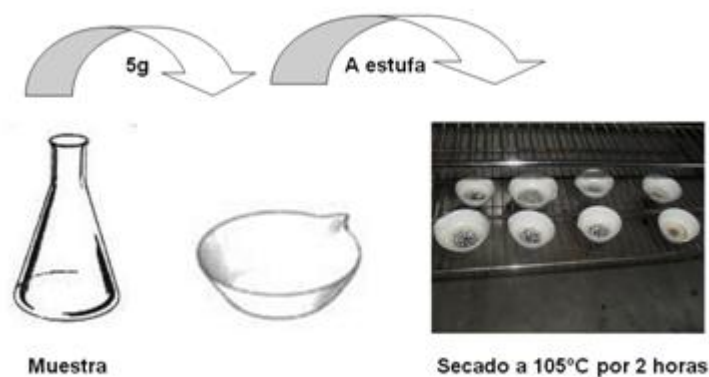
La ecuación empleada para dichos análisis es la siguiente:

$$\% \text{ Humedad} = \frac{\text{Pérdida de peso}}{\text{Peso de la muestra}} * 100\% = X \%$$

Ecuación 3. Cálculo para la determinación de humedad.

Donde:

- **Pérdida de peso:** Peso de la cápsula con la muestra después de estar en la estufa **menos** peso de la cápsula sola. (g).
- **Peso de la muestra:** (g)
- **100%:** Factor para obtener dato en término de porcentaje. [28]



Esquema 4. Metodología para la determinación de Humedad.

7.1.6. Cenizas: Para la determinación de Cenizas, se basa en la pérdida de peso que sufre la muestra después de someterse a un proceso de calentamiento a 550°C y se debe hacer un tratamiento previo del material, en este caso los crisoles donde se introducirá la muestra se deben tarar, lo que consiste secar los crisoles con tapa en la Mufla por 2 horas a 250°C. [28]

Para la determinación de cenizas toma 1g de muestra en un Crisol previamente tarado, llevar a la Mufla por aproximadamente 3 horas haciendo un escalonamiento en la temperatura que va desde una inicial de 150°C y final de 550°C, se llevan después a un desecador mientras se enfrían hasta obtener peso constante, y finalmente se pesan para estimar el cálculo con la siguiente fórmula:

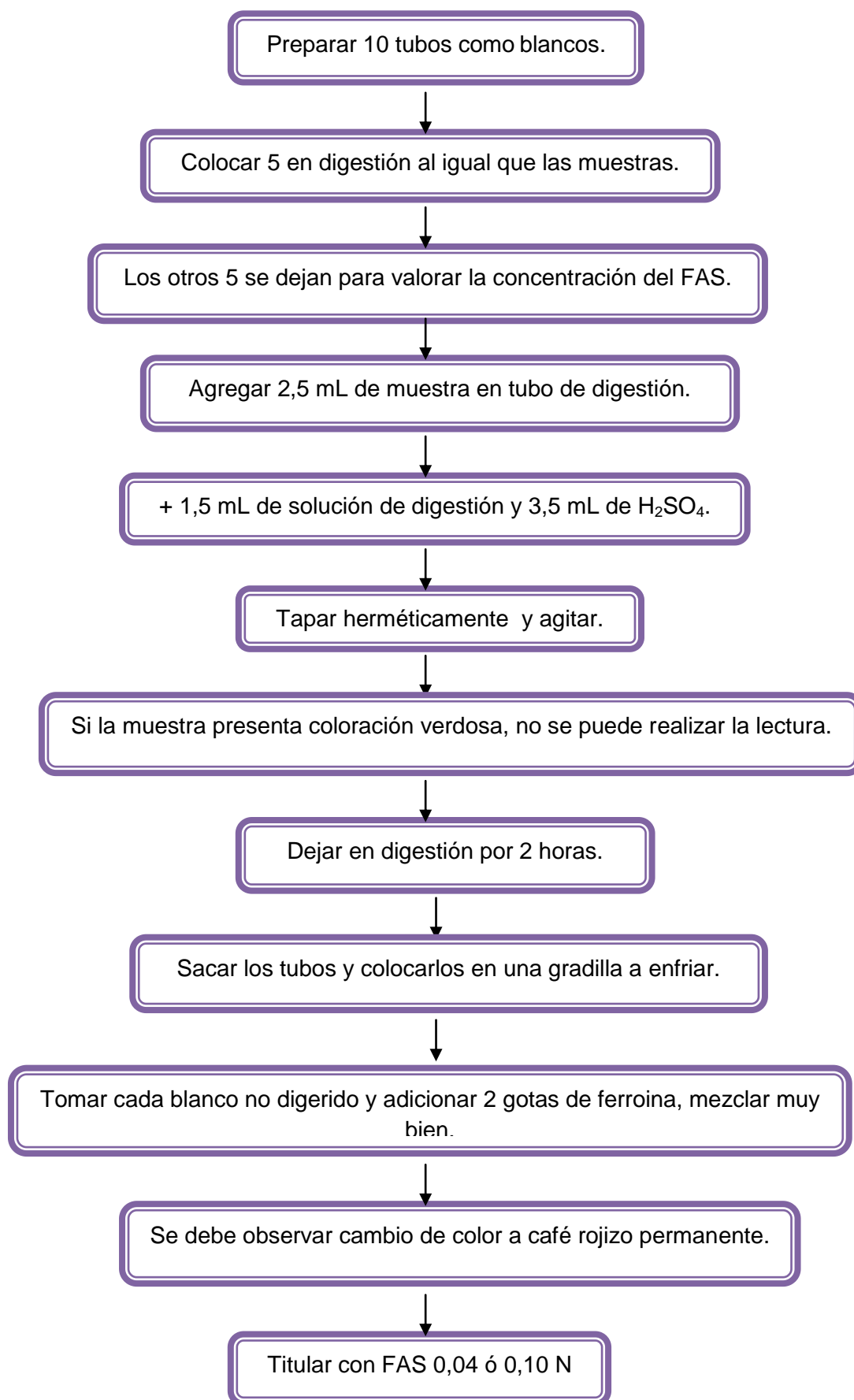
$$\% \text{ de Cenizas} = \frac{\text{Peso del crisol con cenizas} - \text{Peso del crisol vacío}}{\text{Peso de la muestra}}$$

Ecuación 4. Cálculo para la determinación de cenizas.



Esquema 5. Metodología para la determinación de Cenizas.

7.1.7. Demanda Química de Oxígeno: La realización experimental de la medida de la Demanda Química de Oxígeno, fue necesario hacerlo en las instalaciones del laboratorio de la PTARI de la empresa, ya que allí se contaba con el equipo y reactivos necesario para el desarrollo de la misma. Para la realización de esta prueba se siguieron las indicaciones mencionadas en el Protocolo para DBO5 por el IDEAM [39], los cuales fueron:



Finalmente para hallar el valor de DQO se emplea la siguiente fórmula que fue proporcionada por la Empresa:

$$DQO = \frac{(\text{Blanco titulado} - \text{Muestra titulada}) * N FAS * 8000}{\text{Vol. inicial de muestra}} = X \text{ mg/L}$$

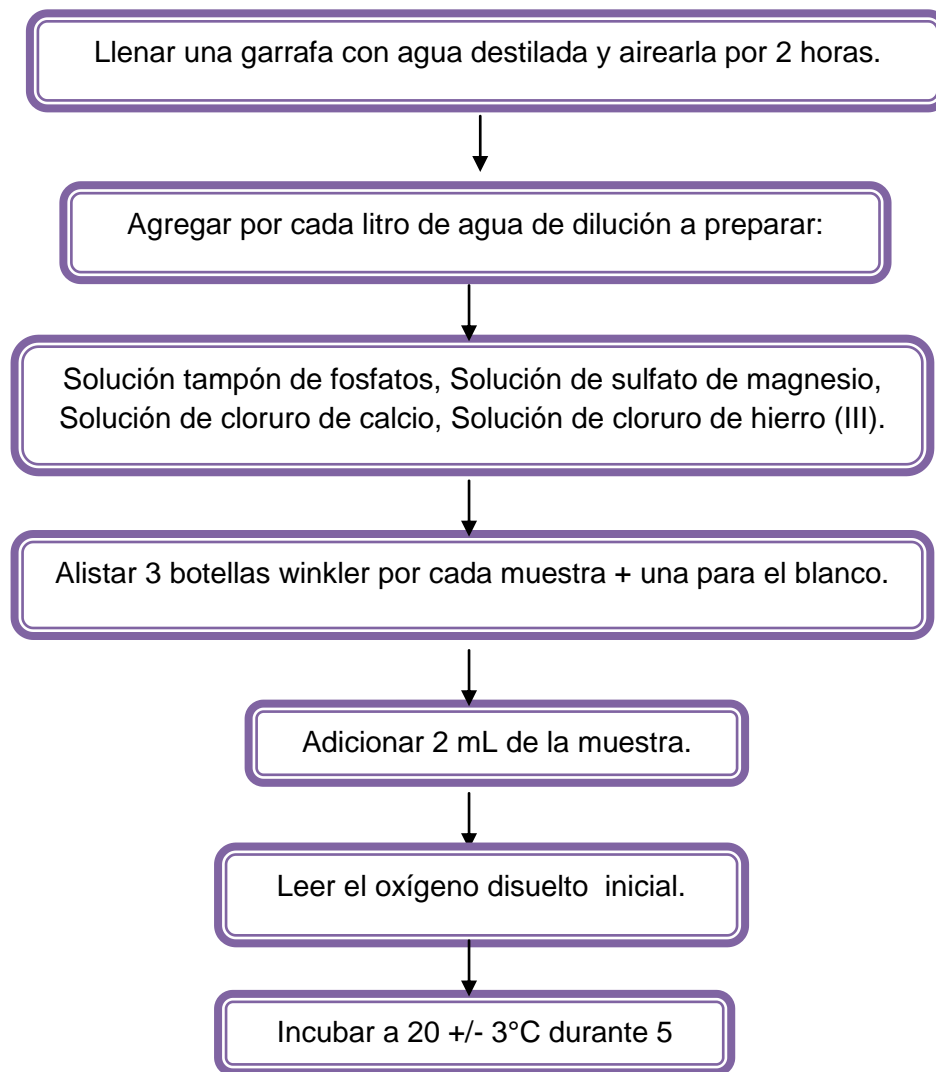
Ecuación 5. Cálculo para la determinación de DQO

Donde:

- **Blanco titulado:** Agua destilada (mL)
- **Muestra titulada:** Lodo de cada una de las Válvulas.
- **N FAS:** Sulfato Ferroso Amoniacal 0.2168 N
- **8000:** Parámetro de medición en la carga de DQO según La Empresa.
- **Vol. Inicial de muestra:** (mL)

7.1.8. Demanda Bioquímica de Oxígeno: La realización experimental de la medida de la Demanda Bioquímica de Oxígeno, fue necesario hacerlo en las instalaciones del laboratorio de Aguas y Alimentos de la Universidad Tecnológica de Pereira, ya que allí se contaba con el equipo más importante, Incubadora con temperatura de 20°C, necesaria para el desarrollo de la misma.

Para la realización de esta prueba se siguieron las indicaciones mencionadas en el Protocolo para DBO por el IDEAM [40], los cuales fueron:



Finalmente para hallar el valor de DBO se emplea la siguiente fórmula que fue proporcionada por la Empresa:

$$DBO_5 = \frac{OD_{consumido} - OD_{consumido\ blanco}}{Vm} * V = X \text{ mg/L}$$

Ecuación 6. Cálculo para la determinación de DBO.

Donde:

OD consumido: Oxígeno disuelto consumido por cada una de las muestras al inicio menos al final.

$$OD\ consumido = OD\ inicial\ muestra - OD\ residual\ muestra$$

OD final: Oxígeno disuelto consumido por el blanco al inicio menos al final.

$$OD\ consumido\ blanco = OD\ inicial\ blanco - OD\ residual\ blanco$$

V_m: Volumen de alícuota para el factor de dilución.

V: Volumen de Botella Winkler (aprox. 300mL)

7.2. ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO

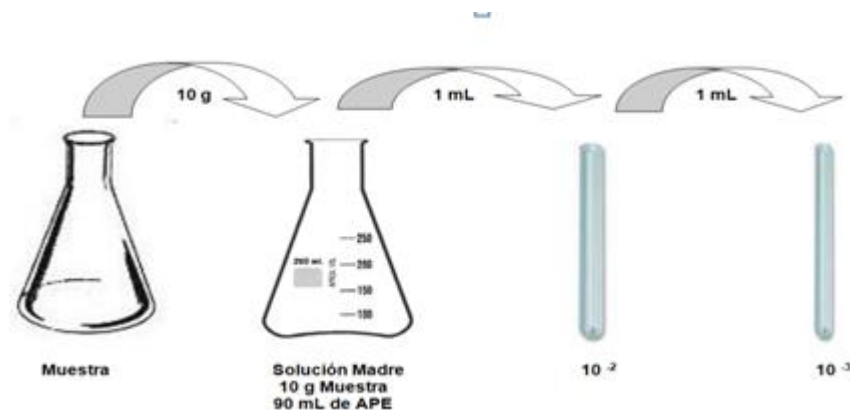
Determinar las características microbiológicas de los lodos presentes en la PTARI de la Empresa Jugos HIT de la ciudad de Pereira, tales como: bacterias mesófilas aerobias, Coliformes totales y fecales, Mohos y Levaduras, *Pseudomona sp.* *Clostridium sulfito reductor* y *Salmonella sp.*

Después de tomar como matriz de análisis los lodos resultantes del tratamiento de aguas en la Empresa, y sabiendo que solo realizan un análisis denominado perfil del lodo, en el cual determinan sólidos suspendidos volátiles, sólidos suspendidos totales y actividad metanogénica, surge la necesidad de realizar una caracterización que permita evaluar otros parámetros.

Para la evaluación de ciertos parámetros microbiológicos, la metodología inicial en cada uno de ellos es la misma, teniendo variaciones que están centradas en: medios de cultivos empleados, tipo de siembra, temperatura y tiempo de incubación, y lectura.

Se pesan 10g de la muestra y se llevan a un frasco tapa azul que contiene 90mL de APE (Agua Peptonada Estéril), esto se homogeniza durante 10 minutos aproximadamente y se conoce como Solución Madre, de esta mezcla se toma 1mL y se llevan a un tubo de ensayo tapa rosca que contiene 9mL de APE y se homogeniza nuevamente hasta llevar a una dilución de 10^{-3} . [23]

A continuación, se presenta un esquema general el cual muestra lo antes mencionado y utilizado para las pruebas de microorganismos Mesófilos Aerobios, *Clostridium Sulfito Reductor*, y Mohos y Levaduras.



Esquema 6. Metodología para la determinación de Microorganismos Mesófilos Aerobios, Clostridium Sulfito Reductor y Mohos y levaduras .

7.2.1 Recuento de Microorganismos Aerobios Mesófilos: Para la determinación de este tipo de microorganismos, la metodología a seguir es realizar una siembra utilizando el método de “Siembra en profundidad” por triplicado para la Solución madre y hasta la dilución de 10^{-3} usando como medio de cultivo el Agar Plate Count, el tiempo y temperatura de incubación adecuados para el crecimiento de los microorganismo es de 48 horas a 37°C respectivamente. Seguido a esto, se realiza el recuento el cual consiste en contar las colonias formadas típicas de dicho microorganismo que habitualmente presentan características planas, redondas y de color blanco.

7.2.2. Clostridium Sulfito Reductor (Presencia - Ausencia): La variación de la metodología es que después de tener la Solución Madre y cada una de las Diluciones preparadas, se llevan a un choque térmico por 20 minutos, inicialmente a 80°C por 10 minutos y seguidamente a 5°C por los 10 minutos restantes. En este momento se puede proceder a realizar la siembra por Profundidad, el medio de cultivo a utilizar es Agar TSN (Tryptona Sulfato Niomicina), la cantidad de muestra sembrada es de 1mL y el periodo de incubación es por 48 horas a 45°C en cámara de anaerobiosis.

En el caso particular de la determinación del *Clostridium sulfito Reductor* para incubar correctamente las cajas fue necesario dividir las cajas (36 en total) entre la cámara de anaerobiosis y el método artesanal, de igual forma esto no afectó el análisis ya que se pudieron observar colonias respectivas para este microorganismo (Colonias negras) en la mayoría de las cajas.

La lectura de *Clostridium Sulfito Reductor* se realizó observando si había presencia o ausencia después de transcurrido el tiempo de incubación. Este tipo de microorganismos presenta colonias de color negro, tamaño pequeño y redondas.

7.2.3. Mohos y Levaduras (Recuento): Los medios de cultivo usados que en este caso fueron Agar PDA (Papa Dextrosa Agar) ó Agar Rosa de Bengala, ya que ambos medios de cultivo retardan el crecimiento bacteriano lo que se necesita para que los mohos y las levaduras crezcan en las condiciones requeridas por sus características, el método de siembra es por superficie, el periodo de incubación son 7 días a temperatura ambiente y las cajas deben ser envueltas en papel Kraft para evitar cualquier tipo de incidencia de la luz en éstas, para así impedir la formación de esporas de algunos hongos.[23]

La lectura de estos microorganismos, se basa en el principio de recuento, es decir, después de transcurrido el tiempo de incubación se cuenta el numero de colonias formadas. Los microorganismos presentan una apariencia fácilmente identificable, en su mayoría son de forma esférica, opacas y cremosas.

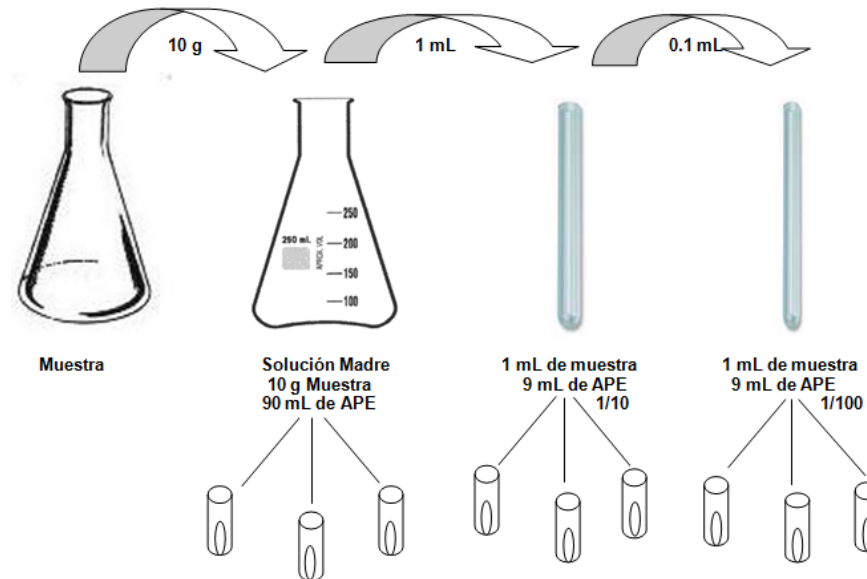
7.2.4. Coliformes Totales y Fecales (Presencia - Ausencia): Para la determinación de este tipo de microorganismos se toman 10g de la muestra y se llevan a un frasco tapa azul que contiene 90mL de APE (Agua Peptona Estéril), esto se homogeniza durante 10 minutos aproximadamente, se conoce como Solución Madre, de esta mezcla se toma 1mL, se llevan a un tubo de ensayo tapa rosca que contiene 9 mL de APE y se homogeniza nuevamente y se conoce como Dilución 1/10, seguidamente de esta mezcla se toma 0.1mL se llevan a un tubo de ensayo tapa rosca que contiene 9.9 mL de APE y se homogeniza nuevamente y se conoce como Dilución 1/100.

Después de tener la Solución Madre y las Diluciones preparadas se procede a la siembra de cada una de estas por triplicado en Caldo Fluorocult LMX, la cantidad de muestra sembrada es de 1mL y el periodo de incubación es de 48 horas a 37°C.[23]

Para este tipo de microorganismos la siembra realizada es en tubos de ensayo tapa rosca donde se encuentran 10mL del medio de cultivo y Campanas de Durham en cada uno de ellos en estos se agrega los 1mL de muestra para sembrar, el uso de las Campanas de Durham es para observar la capacidad de dichos microorganismos de fermentar la lactosa con la producción de ácido y gas, con estos se identifica la presencia de Coliformes Totales. [23]

Por otra parte la lectura para los Coliformes fecales se hace usando la Tabla para Número Más Probable (Anexo 1), un método estadístico, donde se evalúa si la muestra inicialmente presenta fluorescencia y posteriormente si da resultado positivo con el Reactivo de Kovacs, este reactivo se usa para hacer la prueba confirmativa de

E. Coli la prueba será positiva si aparece un anillo de color rojo y negativa si aparece un anillo de color amarillo, en la superficie de la solución. [38]



Esquema 7. Metodología para la determinación de Coliformes totales y fecales.

7.2.5 *Salmonella sp* (Presencia - Ausencia): Para la determinación de este tipo de microorganismos se debe cumplir con tres etapas: Pre-enriquecimiento, Enriquecimiento y Siembra de la muestra. Se pesan 25g de la muestra y se llevan a un Erlenmeyer que contiene 225mL de Caldo Lactosado, medio de cultivo empleado para el pre-enriquecimiento de la muestra, tener esto en un baño maría a 60°C por 1 hora.

Se toma 1mL de esta mezcla y se lleva a un tubo de ensayo tapa rosca que contiene 9mL de Caldo Selenito Cistina CSC, medio de cultivo usado para el enriquecimiento de la muestra, esto se incuba durante 24 horas a 37°C.

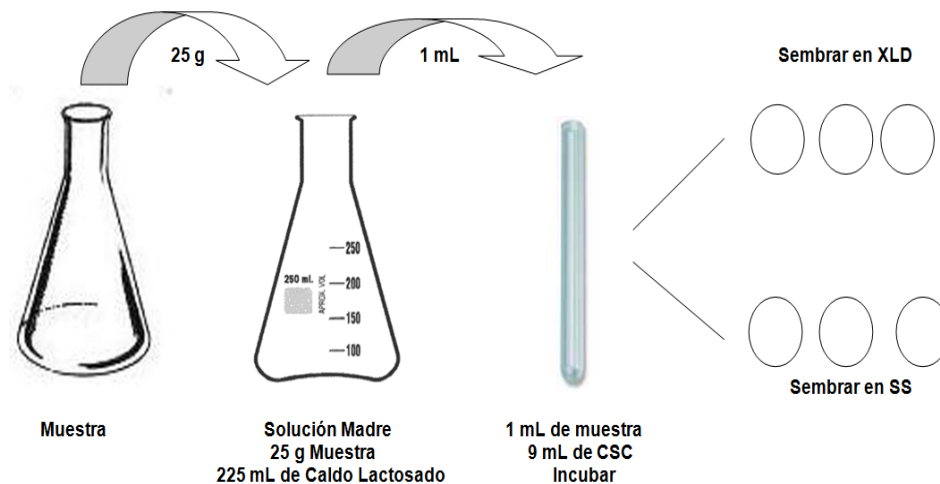
Transcurrido el periodo de incubación se toman 0.1mL y se siembra por Superficie en Agar Xilosa Lisina Desoxicolato XLD y en Agar Shiguella – *Salmonella*, medios de cultivo selectivos para el crecimiento de *Salmonella Sp*, se incuba por 24 horas a 37°C.

Después de la incubación se revisan las cajas si se observan en cualquiera de los dos medios de cultivo, colonias negras, se aíslan y se siembran en Agar Triple Azucar Hierro TSI, medio de cultivo usado para el aislamiento e identificación de la *Salmonella sp*, igualmente por superficie y con una incubación de 24 horas a 37°C.

las colonias negras son las consideradas como típicas y presuntivas relacionadas con la *Salmonella sp.*

Los tiempos y temperaturas de incubación deben respetarse, ya que de lo contrario podría ocasionar falsas sospechas de la presencia de este tipo de microorganismos, es por esto que se realiza en tres etapas la identificación del mismo.

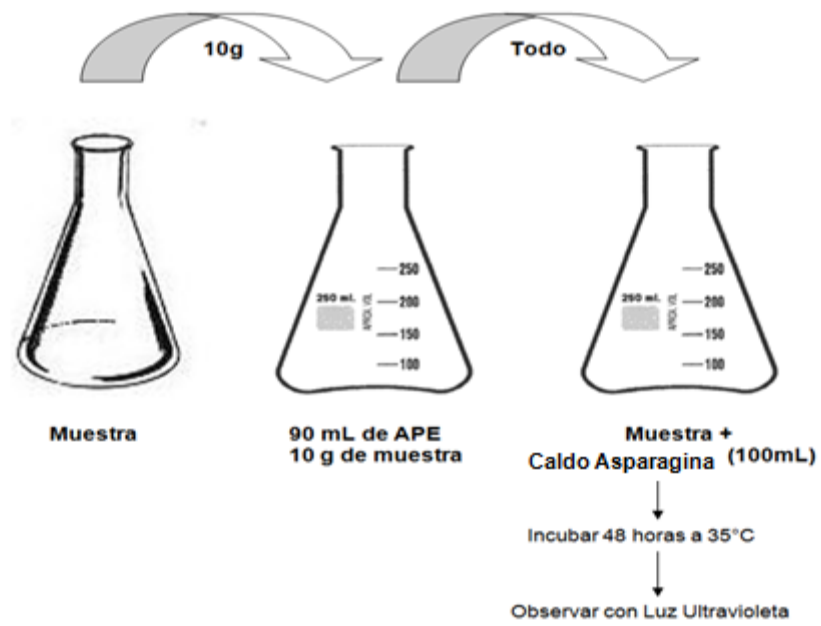
La lectura de estos microorganismos, se basa en el principio de recuento, es decir, después de transcurrido el tiempo de incubación se cuenta el numero de colonias formadas.



Esquema 8. Metodología para la determinación de *Salmonella sp.*

7.2.6 *Pseudomona sp* (Presencia - Ausencia): Para la determinación de este tipo de microorganismos se pesan 10g de la muestra y se llevan a un frasco tapa azul que contiene 90mL de APE (Agua Peptona Estéril), esto se homogeniza durante 10 minutos aproximadamente, posteriormente se pasa a otro frasco tapa azul donde están contenidos 100mL del medio de cultivo, que en este caso es Caldo Asparagina, se homogeniza durante 10 minutos y se incuba en un periodo de 48 horas a 37°C.

La determinación de la *Pseudomona sp* se estima a través de la presencia o ausencia del microorganismos en la muestra, si presenta fluorescencia ante una lámpara de Luz ultravioleta después de haber estado en un determinado proceso de incubación el resultado se toma como positivo para la presencia de dicho microorganismo, de lo contrario, es decir ni se observa fluorescencia el resultado será negativo.



Esquema 9. Metodología para la determinación de *Pseudomonas* sp.

8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con la información suministrada por la Empresa y sabiendo las características del reactor y de cada una de las válvulas, y las condiciones en las cuales se tomaron las muestras, se espera que el comportamiento de las Válvulas, sea el siguiente:

- **Válvula 1:** Alto contenido de carga microbiana y de producción de Lodo. Su altura en el reactor es de 0,50 metros.
- **Válvula 2:** Bajo contenido de carga microbiana y considerable producción de Lodo. Su altura en el reactor es de 1,80 metros
- **Válvula 3:** Alto contenido de carga microbiana y poca producción de Lodo. Su altura en el reactor es de 3,20 metros.
- **Válvula 4:** Poco contenido de carga microbiana y deficiencia en la producción de Lodo. Su altura en el reactor es de 4,50 metros.

En cada uno de los muestreos se observaron variaciones de tipo físico y microbiológico predominantemente, debiéndose a las características y estado del reactor en días anteriores a la toma de muestras. Los diferentes muestreos se intentaron realizar con 15 días de diferencia.

8.1 Parámetros fisicoquímicos: A nivel fisicoquímico, con la Normatividad nacional existente para la caracterización de los Lodos resultantes del tratamiento de aguas los únicos parámetros que establecen valores mínimos y máximos permitidos son para la prueba de:

- Humedad: Reportada en la NTC – 5167.

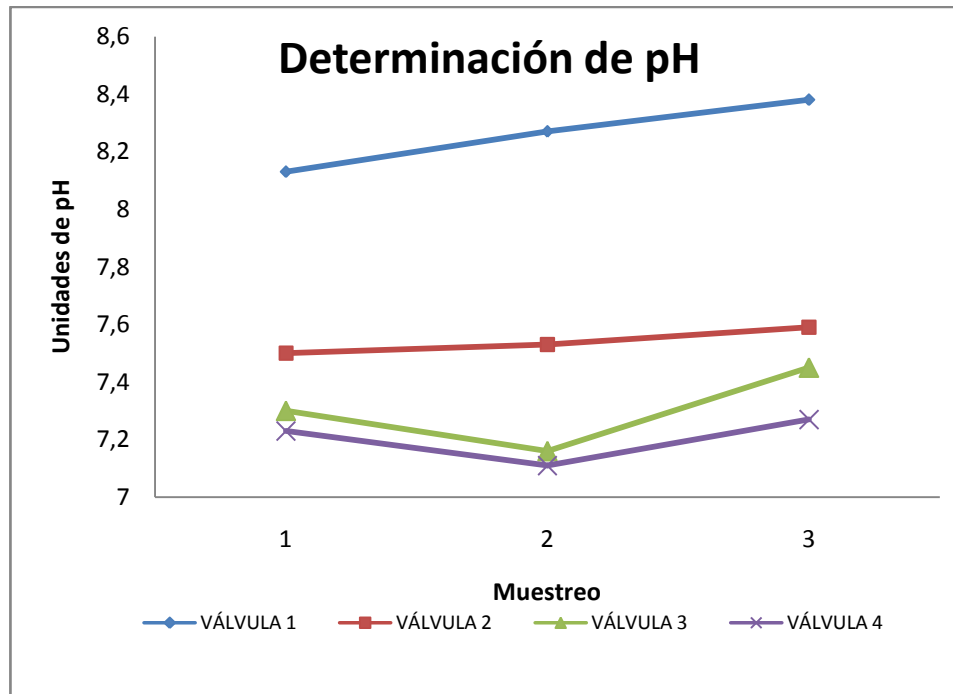
Por lo que se vio la necesidad de hacer análisis y comparación de los resultados, simplemente con definiciones teóricas de los fundamentos de cada una de las pruebas y los resultados entre si. Es por esto, que en el análisis simplemente se observará la relación de los resultados entre una misma prueba y en ocasiones con alguna otra. Pero difícilmente pocas veces con la normatividad de las entidades gubernamentales.

En cada uno de los parámetros fisicoquímicos realizados se evaluaron los muestreos 1, 2 y 3 ya que la metodología planteada inicialmente, indicaba obtener análisis por triplicado. Sin embargo, se presentaron variaciones en la determinación de:

- Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO): se analizó únicamente muestreo 3 debido a la poca disponibilidad de equipos requeridos para la realización de este.

8.1.1. Medición de pH: El pH óptimo de las aguas debe estar entre 5.0 – 9.0 unidades según se ve referenciado en el Decreto 1594 de 1984 es decir, un agua entre neutra y ligeramente alcalina el máximo aceptado es 9 unidades donde relativamente existe la mayor parte de la vida biológica. Las aguas residuales con valores de pH menores a 5 y superiores a 9 son de difícil tratamiento mediante tratamiento biológico. [41]

A continuación se muestra la gráfica que ilustra los resultados obtenidos para la determinación de pH:



Gráfica 1. Determinación de pH



Imagen 2. Medición de pH



Imagen 3. Medición de pH

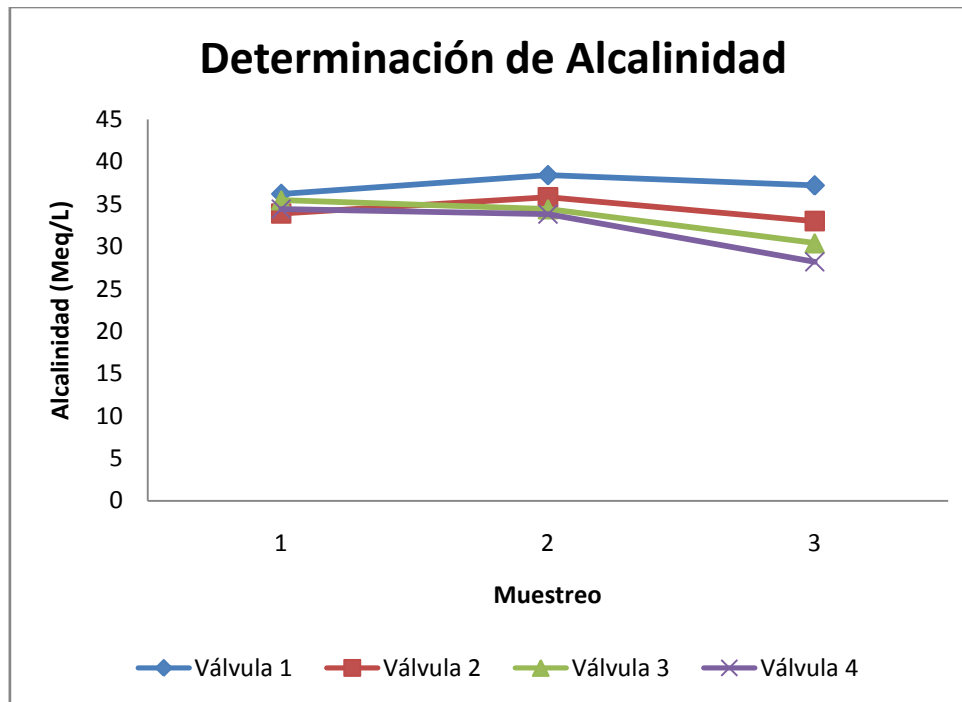
Para la medida de pH se observó que los resultados obtenidos en los diferentes muestreos en cada una de las válvulas fueron similares entre si, donde se visualiza gráficamente que la

tendencia es a seguir cierta linealidad ya que el valor más alto corresponde a la Válvula 1 y el más bajo a la Válvula 4, esto se atribuye al caudal de proceso involucrado en todo el tratamiento, ya que el contacto inicial de la materia se hace con la válvula 1, pasando por las válvulas 2 y 3 respectivamente y terminando en la válvula 4. En la linealidad descrita no se evidencian alteraciones con relación al tiempo entre la toma de muestras, sin embargo, para el Muestreo 3 los valores obtenidos son mayores en relación con los dos anteriores muestreos, la consecuencia de esto fue que varias canecas de pulpa no fueron aceptadas en el análisis microbiológico realizado por el Laboratorio de Control de Calidad para la producción de los productos ya que presentaba alto contenido de microorganismos patógenos, lo que conllevó al descarte de estas y así ser aprovechadas como alimento para el Reactor, de esta manera el pH se ve alterado considerablemente debido a que la carga microbiana estaba ingresando con valores mucho mayores a los cotidianos trabajados en la PTARI.

8.1.2. Alcalinidad: La medida de la alcalinidad está relacionada directamente con un indicativo de la concentración de sustancias como carbonatos, bicarbonatos y ácidos carbónicos. [10]

La medida de la alcalinidad de un agua sea residual o potable, se encuentra referenciada en la normatividad colombiana en el Decreto 3930 de 2010 [37] y el Decreto 4728 de 2010 [38], donde se establece que este será una de las pruebas a realizar para el Monitoreo de los vertimientos de aguas superficiales y subterráneas.

A continuación se muestra la gráfica que ilustra los resultados obtenidos para la determinación de alcalinidad:



Gráfica 2. Determinación de alcalinidad



Imagen 4. Determinación de Alcalinidad

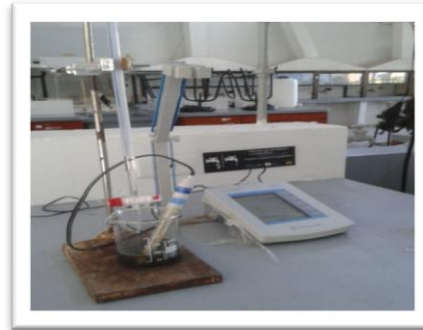


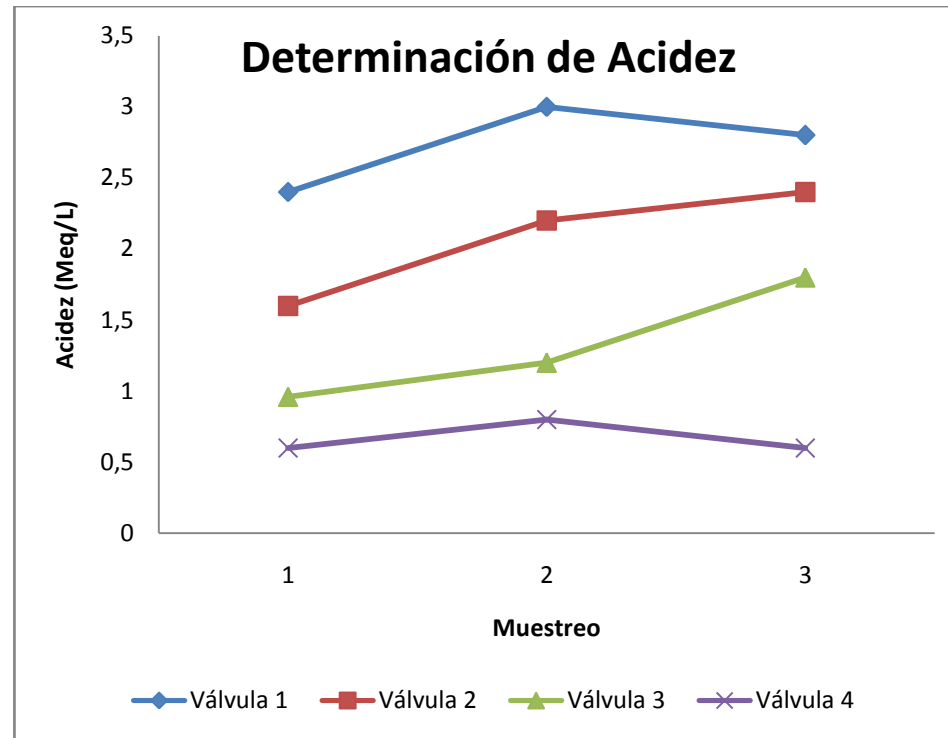
Imagen 5. Determinación de Alcalinidad

En la Empresa la adición de los nutrientes y micronutrientes se realiza diariamente en concentraciones diferentes establecidas internamente, las cantidades alimentadas al reactor son constantes. De esta manera en los resultados reportados en la Gráfica 2, se logra evidenciar que el contacto primario de las sales minerales es la Válvula 1 por lo que allí es donde se presenta los valores más altos comparados con las otras válvulas,

Los valores obtenidos en cada muestreo y para cada válvula se mantuvieron dentro de un rango cercano lo que permitió mostrar que la relación de la alcalinidad para este caso no se logró afectar por la diferencia de altura y ubicación interna de las válvulas en el reactor. Sabiendo las condiciones en las que se encontraba el reactor en el momento de la realización del tercer muestreo, esta determinación no se vio afectada como ocurrió con otros parámetros, lo que lleva a concluir que la materia orgánica con la que se alimentó el reactor en ese momento no aportaba bicarbonatos, carbonatos y ácidos carbónicos suficientes al reactor para indicar altos niveles de alcalinidad.

8.1.3. Acidez: La determinación de la acidez tiene como objeto cuantificar las sustancias ácidas presentes en un determinado cuerpo de agua. La acidez en el agua y en este caso los lodos, puede estar asociada a la presencia de ácidos débiles y de sales fuertes que proviene de bases fuertes. En un sistema acuoso natural cuyo pH este comprendido entre 5 – 8 puede asumirse que la acidez de la muestra se debe casi que exclusivamente a la concentración del Dióxido de Carbono. [10]

A continuación se muestra la gráfica que ilustra los resultados obtenidos para la determinación de acidez:



Gráfica 3. Determinación de acidez.



Imagen 6. Determinación de Acidez

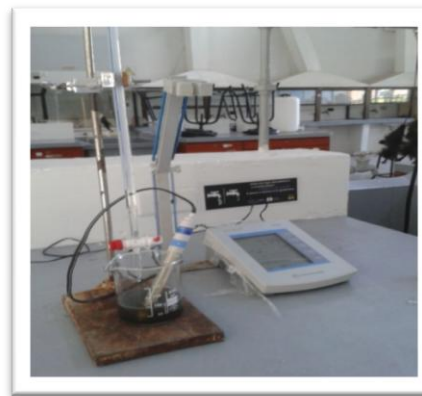


Imagen 7. Determinación de Acidez

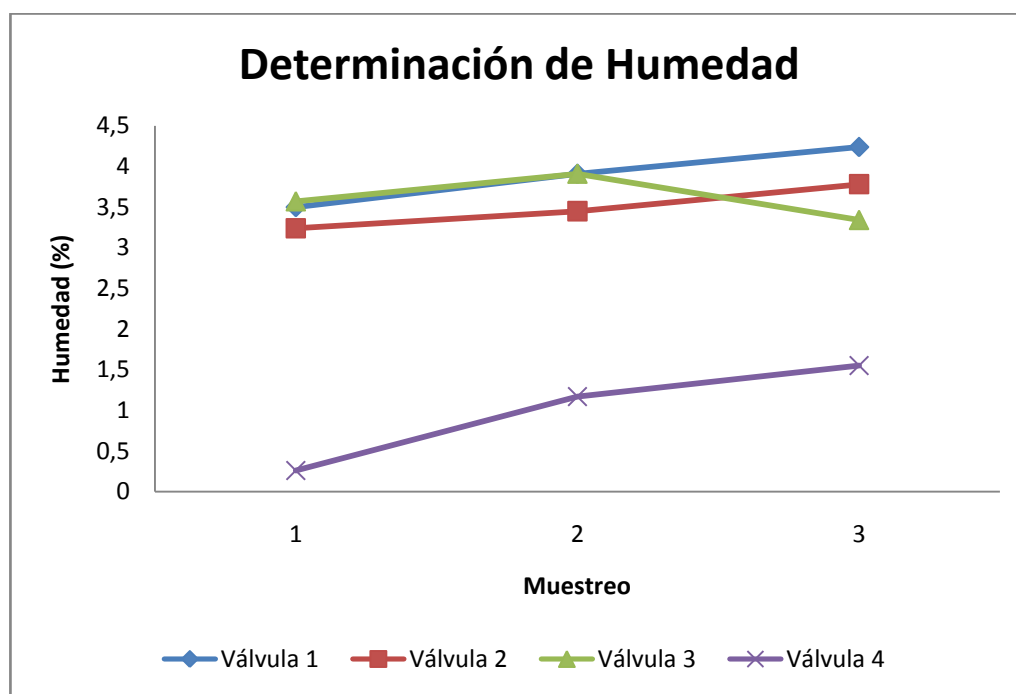
La acidez de los lodos analizados está ligada a la generación de dióxido de carbono que se presenta durante el tratamiento de las aguas y al pH de la muestra. [13], por lo tanto se analiza gráficamente que los lodos procedentes de la válvula 1 presentan contacto más directo con el dióxido de carbono, esto se observa de forma similar manteniendo cierta linealidad entre cada muestreo los cuales presentan variaciones mínimas. Esto ocurre de igual forma para los lodos procedente de las válvulas 4 donde se logra evidenciar que presenta prácticamente la misma tendencia que la válvula 1, sin embargo, se observa disminución en los datos de acidez con relación a ésta. Para el caso de las válvula 2 y 3, se observa un comportamiento diferente a las

anteriores, recalándose en los datos obtenidos entre el periodo de tiempo transcurrido del muestreo 2 al 3 presentan donde se ve cierta elevación. Sin embargo, se logra predecir gráficamente que la tendencia de todas las válvulas es muy similar.

8.1.4. Humedad: El principio de la determinación de humedad de una muestra cualquiera está directamente relacionado con la capacidad que tiene de absorber agua y el tiempo de contacto que presentan.[10]

La determinación de la Humedad en muestras de Agua y lodos se encuentra referenciada en el Normatividad Colombiana en la Norma Técnica Colombiana 5167 del año 2004: Productos para la Industria Agrícola, Productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y enmiendas de suelo. [27], donde se indica que el valor máximo para este parámetro deberá ser de 15%.

A continuación se muestra la gráfica que ilustra los resultados obtenidos para la determinación de humedad:



Gráfica 4. Determinación de humedad.



Imagen 8. Determinación de humedad, capsulas en la estufa.



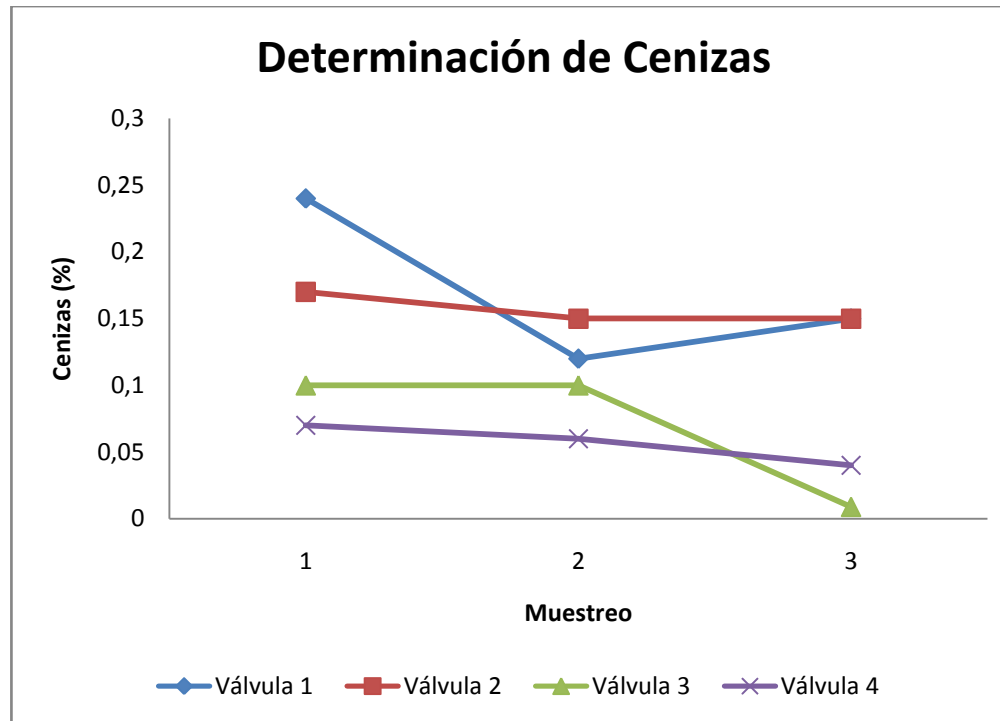
Imagen 9. Determinación de humedad, capsulas en el desecador.

Al observar el comportamiento de los datos obtenidos en la Gráfica 4, se expresa que la Válvula 1 y la Válvula 3 presentan un mayor porcentaje de humedad superior al 3% ya que estas son las muestras que por su actividad son las que presentan mayor capacidad para absorber el agua. En estas válvulas es donde se realiza el mayor trabajo para la degradación de la materia orgánica que está entrando al Reactor.

Basados en la interpretación gráfica se evidencia que la tendencia es que a medida que se toma la muestra a mayor altura interna del Reactor, las características del lodo en cuanto a porcentaje de humedad no varía mucho excepto para la válvula 4 que presenta una altura de 0.5m la cual muestra una diferencia aparentemente significativa, pero esto no podría concluirse si no se prueba estadísticamente mediante una Prueba de Hipótesis ó alguna similar.

Esta humedad es controlada, ya que si se supera el porcentaje establecido en la Norma Técnica Colombiana 5167 del año 2004 para fertilizantes y abonos orgánicos puede afectar las matrices donde posteriormente los lodos puedan llegar a ejercer propiedades benéficas, como es el caso de los Suelos. Las muestras evaluadas cumplen con los requisitos planteados por la Norma Técnica Colombiana 5167, ya que ninguna de las Válvulas en su análisis presenta un porcentaje superior al reportado en la misma.

8.1.5. Cenizas: En la determinación de cenizas el agua y sustancias volátiles son evaporadas, mientras que las sustancias orgánicas son incineradas en presencia del oxígeno del aire para producir dióxido de carbono y óxido de nitrógeno. [10].
A continuación se muestra la gráfica que ilustra los resultados de la prueba:



Gráfica 5. Determinación de cenizas



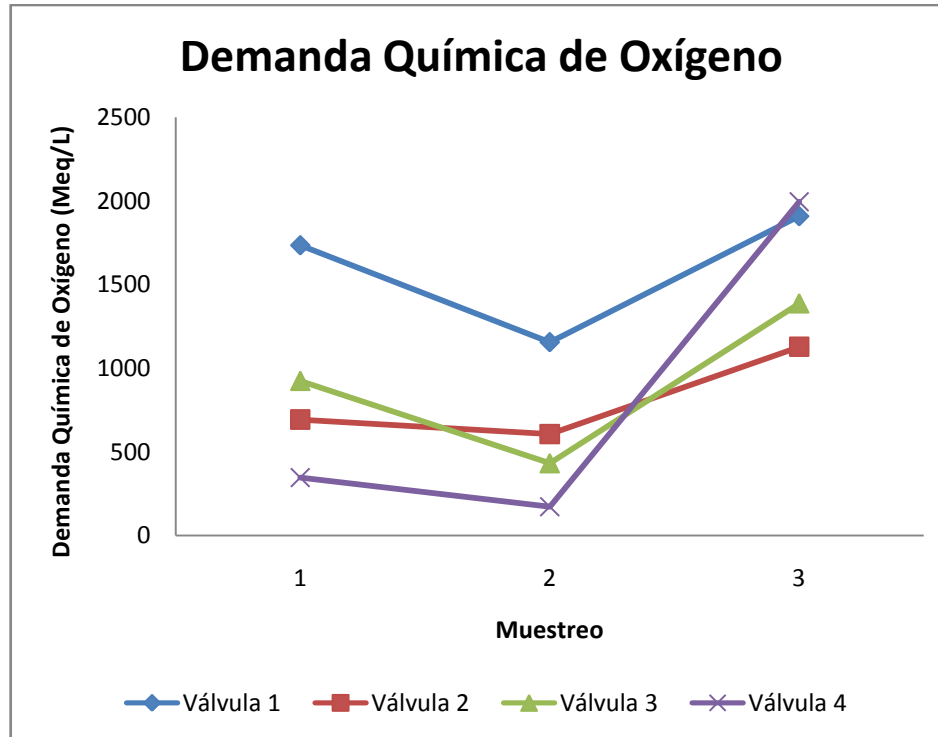
Imagen 10. Determinación de cenizas, crisoles en la mufla



Imagen 11. Determinación de cenizas, crisoles en el desecador

Se logra evidenciar que en el tratamiento de las aguas residuales industriales para el caso de la Empresa, el contacto de la materia orgánica se hace inicialmente con la Válvula 1, esta válvula es la encargada de disminuir la carga microbiana de todas las materias involucradas en el proceso, y es allí donde se presentó un porcentaje de ceniza de 0.25% en el primer muestreo siendo el mayor valor obtenido en todo el análisis. En las otras 3 válvulas, lo que llega es solo el residuo de lo que la válvula 1 deja y no es capaz de asimilar, es por esto que gráficamente no se presentan variaciones notorias durante los tres muestreos.

8.1.6. Demanda Química de Oxígeno: La Demanda Química de Oxígeno (DQO) consiste en determinar la cantidad de oxígeno requerido para oxidar la materia orgánica en una muestra de agua [39].



Gráfica 6. Determinación de la Demanda Química de Oxígeno



Imagen 12. Determinación de DQO



Imagen 13. Tubos para la determinación de DQO en el DQO metro

A partir de la grafica 6, se puede apreciar que la Válvula 1 es la encargada de realizar el principal trabajo de contacto con la materia orgánica que entra constantemente al reactor, de igual forma, se evidencia que la Válvula 3 debido a su ubicación en el reactor también presenta suficiente

contacto con la materia orgánica. Sin embargo para el caso de las Válvulas 2 y 4, el resultado de la DQO fue inferior a las anteriores mencionadas, esto se debe a que lo que llega a ellas está en menor proporción de materia orgánica.

Analizando los diferentes días empleados para la toma de muestra y observando el comportamiento de las cuatro válvulas en el tercer muestreo, se percibe gráficamente un crecimiento lo que es atribuido a un posible incremento de materia orgánica en el proceso.

Para facilitar el análisis de esta determinación la Empresa proporcionó valores obtenidos de esta prueba a los puntos de entrada y salida del agua de los días que se realizaron los muestreos:

Fecha	Punto de Entrada Agua Cruda	Punto de Salida Agua Tratada
Agosto 18 de 2012	2620	88,6
Septiembre 17 de 2012	2825	91,4
Octubre 1 de 2012	2545	84,7
Promedio	2663,33	88.23

Tabla 5. Reporte para Demanda Química de Oxígeno por parte de la Empresa para días de muestreo.

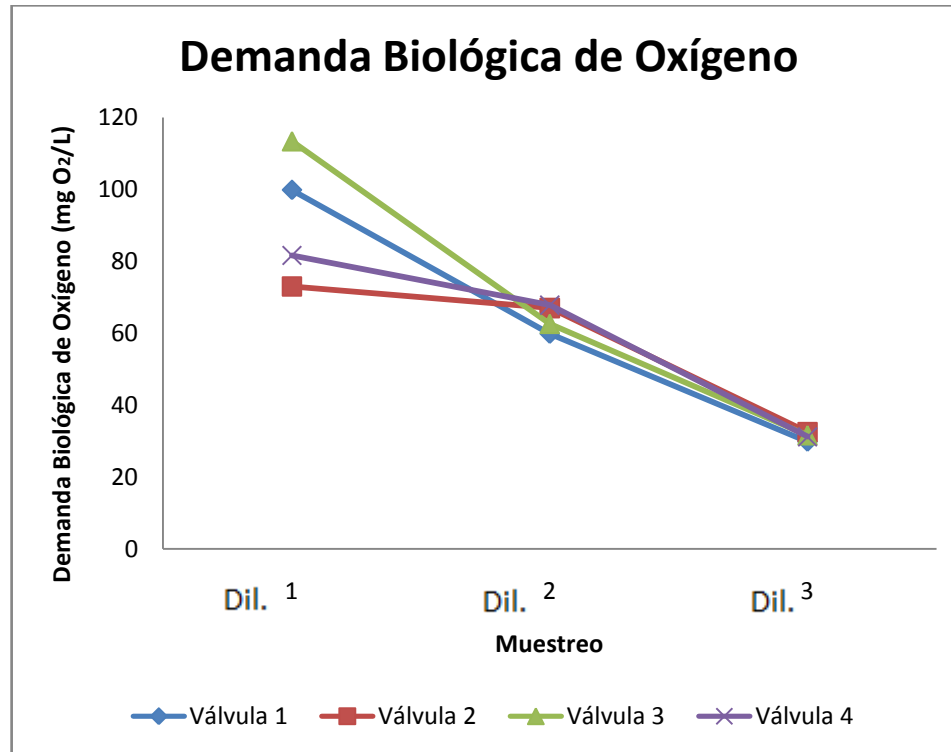
Teniendo los datos de la determinación por parte de la Empresa realizada a los puntos de Entrada y Salida y los resultados de la parte experimental efectuada en el presente trabajo, se puede establecer una relación entre la válvula 1 – Agua Cruda y válvula 4 – Punto se salida.

Para la relación válvula 1 – Agua Cruda se observa que los resultados promedio de los análisis para la válvula 1 arrojan un resultado de 1599.5 Meq/l como se muestra en el anexo 2.7 y los resultados de la Empresa para el agua cruda un promedio de 2663,33 Meq/l, los valores presentan una diferencia considerable pero los valores más altos son en el Agua cruda que en la válvula 1, esto es de esperarse ya que el punto de salida de la Válvula 1 ya se ha realizado cierto proceso que ha ido removiendo de manera considerable la cantidad de materia orgánica con la que está entrando el agua en su punto inicial.

Para la relación válvula 4 – Punto se salida el resultado promedio para la válvula 4 es de 838,29 Meq/L y para el punto de salida 88,23 Meq/L la diferencia es notoria, los resultados para la parte experimental realizada en el presente trabajo es elevado en relación con el obtenido por los operarios en la PTARI, esto puede relacionarse con la dilución empleada, por el contrario las diluciones realizadas en la PTARI ya están establecidas para que los resultados estén entre un rango deseado. Se resalta que el procedimiento está bien realizado, únicamente se deberá tomar la precaución de no realizar diluciones de baja concentración para próximas ocasiones.

8.1.7. Demanda Bioquímica de Oxígeno: Uno de los ensayos más importantes para determinar la concentración de la materia orgánica es el ensayo de la Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO en cinco días. Esencialmente, la DBO es una medida

de la cantidad de oxígeno utilizado por los microorganismo en la estabilización de la materia orgánica biodegradable, en condiciones aeróbicas, en un periodo de 5 días a 20°C [40].



Gráfica 7. Determinación de la Demanda bioquímica de oxígeno



Imagen 14. Determinación de DBO



Imagen 15. Determinación de DBO, en incubadora de 20°C

La Gráfica 7 muestra los resultados obtenidos en cada una de las válvulas y sus respectivas diluciones en mg / L. Se observa que los valores para la dilución de 15mL, es decir, la

representada gráficamente como Dil.1, en todas las muestras, son muy altos y disminuye un poco cuando se llega a las diluciones de 25 y 50 mL, representadas gráficamente como Dil.2 y Dil.3, respectivamente pero siguen siendo valores muy altos ya que sobrepasa los 20 mg/L y con lo reportado por la literatura [40] este valor no debe ser superior a 2mg/L, al alteración a esta prueba se ve relacionada con la incorrecta preparación de la diluciones ya que los patrones tomados fueron más elevados de lo que se recomienda.

Los resultados obtenidos no arrojan una confiabilidad del 100% ya que se espera que al momento de medir el Oxígeno Disuelto Residual de cada una de las muestras y del blanco de valores aproximados o por encima de 2 mg O₂/L, pero para nuestro caso los valores en su mayoría son menores a 1, esto se puede relacionar con lo mencionado anteriormente, es decir, la preparación de diluciones incorrecta para la muestra que se estaba analizando, no fue posible repetir el procedimiento debido a la falta de reactivos y poca disponibilidad de los equipos necesario para el desarrollo de la prueba, Incubadora a 20°C y el Oxímetro.

En el Anexo 2.8 se muestra la Tabla con los valores de Oxígeno Disuelto Inicial y Oxígeno Disuelto Residual en cada una de las muestras y en el blanco.

8.2 Parámetros microbiológicos: Para la determinación de los parámetros microbiológicos evaluados en los lodos procedentes del tratamiento de aguas residuales se puede establecer que los parámetros microbiológicos que se encuentran referenciados en el Proyecto de Decreto por parte del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial son:

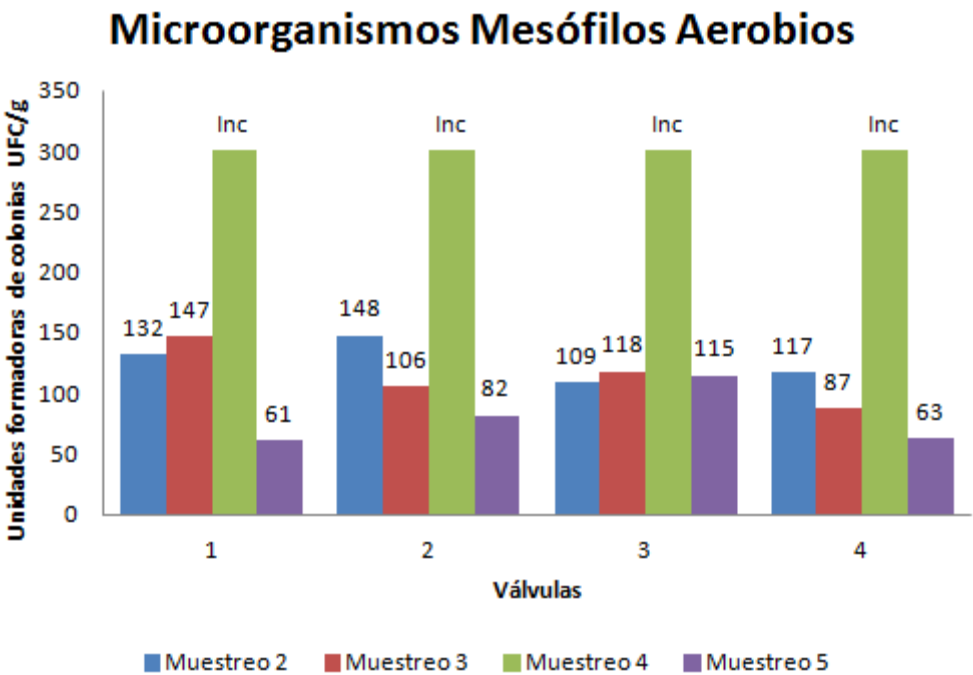
- Microorganismos Mesófilos Aerobios
- Mohos y Levaduras
- Coliformes Totales y Fecales
- *Salmonella sp*

De esta manera es como se establece que el análisis y comparación de los resultados de cada una de las pruebas microbiológicas realizadas, se hará teniendo en cuenta la comparación de las mismas con Normatividad o datos reportados en ocasiones anteriores, como sea posible. De igual forma, se espera evaluar y analizar basados en la diferencia de ubicación interna de cada válvula y lo que esto le proporciona al lodo.

En cada uno de los parámetros microbiológicos realizados se evaluaron los muestreos 2, 3, 4 y 5. Sin embargo, se presentaron variaciones en las determinaciones de:

- *Salmonella sp*: Se analizaron los muestreos 3 y 4.
- *Pseudomona sp*: Se analizó únicamente muestreo 4 debido a la poca disponibilidad de equipos requeridos para la realización de este.
- *Clostridium Sulfito Reductor*: Se analizó únicamente en el muestreo 4.

8.2.1. Microorganismos Mesófilos Aerobios (Recuento)



Gráfica 8. Determinación de Microorganismos Mesófilos Aerobios

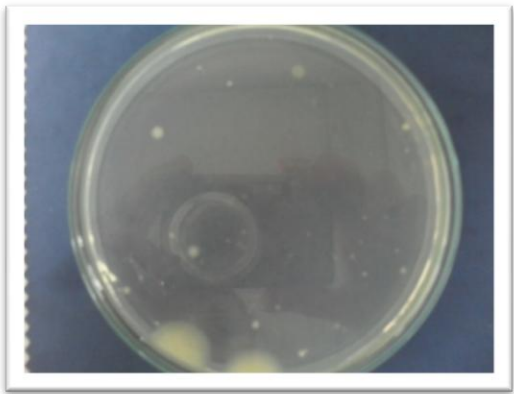


Imagen 16. Microorganismos mesófilos aerobios – Válvula 4, Dilución 10^{-3} en muestreo 2

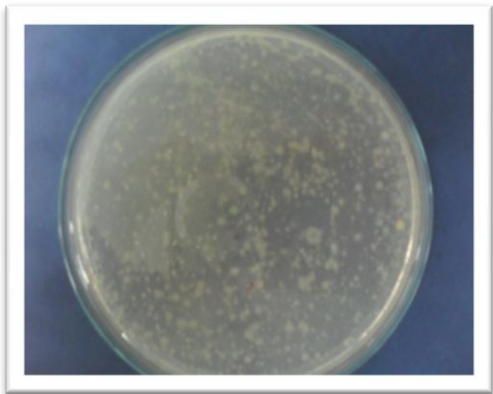


Imagen 17. Microorganismos mesófilos aerobios – Válvula 1, Dilución 10^{-1} en muestreo 4

En el recuento de microorganismos mesófilos se estima la microflora total sin especificar tipos de microorganismo, refleja la calidad sanitaria de determinadas muestras, las condiciones de

manipulación y las condiciones higiénicas de la materia prima. Un recuento bajo de aerobios mesófilos no asegura la ausencia de patógenos o sus toxinas, de la misma manera un recuento elevado no significa presencia de flora patógena. [42]

Un recuento elevado puede significar:

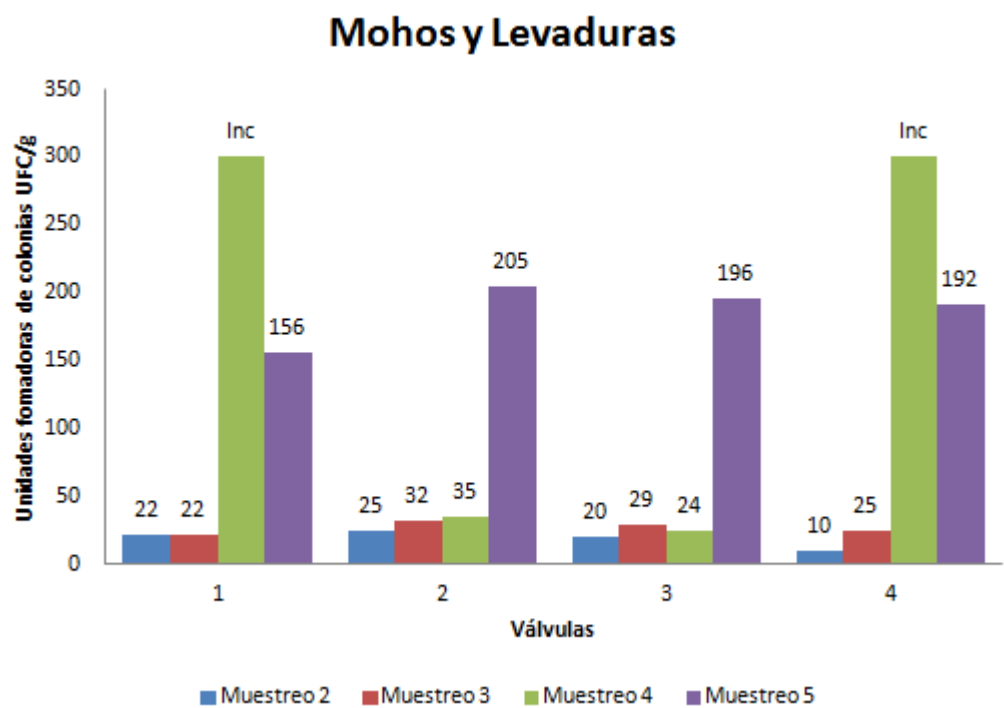
- Excesiva contaminación de la materia prima
- Deficiente manipulación durante el proceso de elaboración
- La posibilidad de que existan patógenos, pues estos son mesófilos
- La inmediata alteración del producto. [23]

Teniendo en cuenta la normatividad vigente para Biosólidos en Colombia, en este caso Lodos resultantes del tratamiento de aguas residuales industriales, no está abarcado un valor mínimo o un límite para los microorganismos mesófilos aerobios, de igual forma no existen valores en la Norma interna de la Empresa, pero el Proyecto de Decreto por parte del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial menciona en uno de sus capítulos la importancia de realizar dicha determinación, debido a que la presencia de dichos microorganismos establecen la calidad sanitaria y las condiciones higiénicas de la materia prima.

Comparando los datos en la Tabla 2.9, se logra comprobar que las diluciones realizadas a las muestras son indispensables para una disminución de colonias en cada una de las Válvulas, lo que se evidencia en los muestreos 1 y 2 respectivamente, ya que los datos obtenidos muestran una disminución notoria a medida que se diluye la muestra. Cabe anotar que la válvula 1 es la que presenta mayor carga microbiana en cuanto a microorganismos mesófilos ya que en esta están los valores más altos, sin embargo, para el muestreo número 3 los valores de dichos microorganismos en cada una de las válvulas y sus respectivas diluciones fue difícil de determinar, debido a que las condiciones del reactor en ese momento estaban fuera de lo normal, esto es atribuido a las grandes cantidades de pulpa desechadas como alimentación para los lodos en el reactor, lo que provocó un incremento considerable en la carga microbiana de la muestra, dando como resultado valores incontables.

En la normatividad Colombiana no se encuentra ningún dato que relacione la medida de este parámetro en los Lodos o material Biosólido, por lo que se hace necesario que el reporte de los resultados no se pueda comparar con otros ya existentes sea en la normatividad colombiana o en la literatura.

8.2.2 Mohos y Levaduras (Recuento)



Gráfica 9. Determinación de Mohos y Levaduras

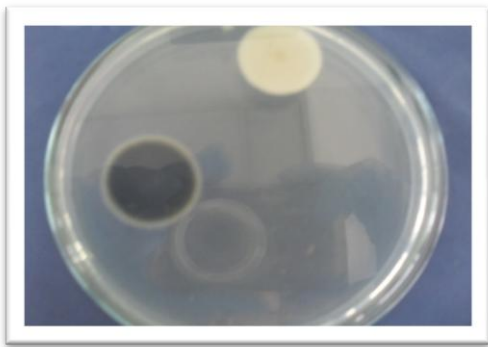


Imagen 18. Mohos y levaduras –
Válvula 1, Dilución 10⁻² en muestreo 2

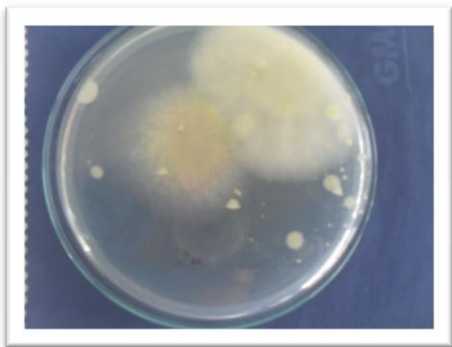


Imagen 19. Mohos y levaduras –
Válvula 1, Solución madre en muestreo 3

Comparando los datos obtenidos se percibe gráficamente que para las cuatro válvulas en los muestreos 1 y 2, las condiciones del reactor presentaban un funcionamiento similar. Se evidencia

nuevamente que las condiciones del reactor para el muestro 3 afectó la totalidad de los análisis realizados, dejando como resultados valores muy elevados. Basados en el muestreo 5 para el caso de las válvulas 1 y 4 se presume gráficamente que la tendencia de la presencia de los mohos y levaduras es a disminuir y tal vez a estabilizarse con valores dentro del rango obtenido en los primeros muestreos el cual se encontró inferior a 50 UFC/g. Sin embargo, es evidente que para concluir esto, se necesita realizar más muestreos los cuales el reactor se encuentren en condiciones diarias normales.

En la normatividad Colombiana no se encuentra ningún dato que relacione la medida de este parámetro en los Lodos o material Biosólido, por lo que se hace necesario que el reporte de los resultados no se pueda comparar con otros ya existentes sea en la normatividad colombiana o en la literatura.

8.2.3. Coliformes Totales (NMP): Existen diversos métodos para cuantificar el número de microorganismos presentes en cualquier tipo de muestras, dentro de las técnicas más comunes se encuentra el recuento en placa de Unidades Formadoras de Colonias o la estimación por el Método del Número Más Probable NMP. Se ha demostrado que el método del NMP es generalmente utilizado en alimentos y aguas pero también puede ser aplicado para la determinación de microorganismos aerobios y anaerobios en lodos, sedimentos marinos y suelos contaminados, por tanto este método es aplicable para estimar el número de microorganismo en muestras de suelo y agua, tanto para bacterias aerobias y anaerobias. [23]

Válvula	Muestreo	Coliformes Totales NMP/g	Coliformes Fecales NMP/g
1	2	240	23
	3	>1100	>1100
	4	240	93
	5	>1100	>1100
2	2	240	23
	3	240	93
	4	23	93
	5	>1100	>1100
3	2	240	23
	3	240	93
	4	35	93
	5	>1100	>1100
4	2	43	43
	3	240	460

	4	23	240
	5	>1100	>1100

Tabla 6. Resultados para Análisis de Coliformes Totales y Fecales.

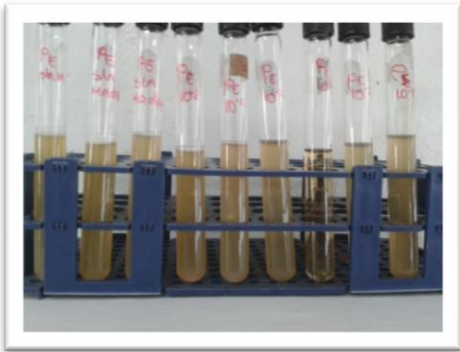


Imagen 20. Determinación de CT, tubos de la Válvula 2 en el

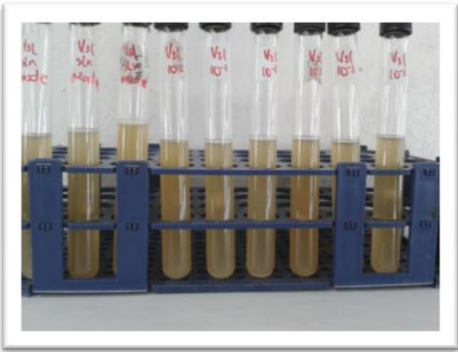


Imagen 21. Determinación de CT, tubos de la Válvula 1 en el muestreo 3 muestreo 2

Para la comparación de los resultados obtenidos con la Normatividad Colombiana, se relacionan directamente los resultados con el Borrador de Decreto elaborado por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo territorial, en este se establece que para la determinación de Coliformes Totales en Material Biosólido el resultado definirá la categoría en la que se encuentran ubicados los lodos.

La Categoría A de los Biosólidos establece si el número de Coliformes Totales es menor a 1000 NMP/g y la Categoría B establece el número de Coliformes Totales es menor a 2000 NMP/g. Según el Borrador de decreto, se concluye que la muestra evaluada corresponde a un Material Biosólido Categoría B puesto que aunque solo en uno de los muestreos realizados la determinación de Coliformes Totales por el método del NMP dio superior a 1100 NMP/g, es muy posible que se deba al poco mantenimiento que se le realiza al reactor y a las tuberías que llegan a este, por lo que se ve necesario catalogarlo de dicha manera hasta efectuar un mejor manejo y condición del reactor.

8.2.4. Coliformes Fecales (NMP): Los Coliformes Fecales son un subgrupo de Coliformes totales que son capaces de fermentar la lactosa a 44°C. Este tipo de microorganismos reflejan de gran modo una contaminación de origen fecal. [23]

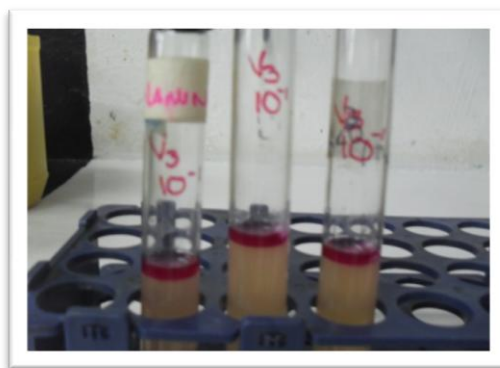


Imagen 22. Determinación de CF, tubos De Válvula 3, Serie 1, muestreo 2

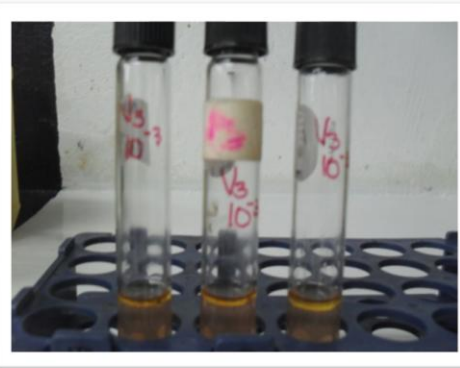


Imagen 23. Determinación de CF, tubos de Válvula 3, Serie 2, muestreo 2

En la Tabla 6 se puede observar que en todas las válvulas hay presencia de Coliformes fecales y en uno de los datos para la válvula 1, el resultado fue mayor a 1100NMP/g lo que indica la presencia máxima de Coliformes en una muestra.

Los datos obtenidos en la tabla 6 ayudan gráficamente a interpretar que las posibles causas para que se presentaran estos resultados se deban a que el reactor contenga una fuga en la parte superior o una inadecuada limpieza en las tuberías entrantes a este, lo cual ocasione que no esté con un funcionamiento hermético. Otra posible hipótesis es que los microorganismos que habitan en el reactor presenten características que hagan que al realizar la prueba aparezca presencia de Coliformes sin ser propiamente este microorganismo, es por esto que para dar una mejor respuesta y con mayor seguridad se deben realizar análisis que permitan tener una claridad más amplia a cerca de la caracterización de algunos microorganismos, se piensa en realizar pruebas bioquímicas o test rápidos para la identificación de patógenos en particular y así lograr identificar que es lo que está ocurriendo con el reactor con la carga microbiana.

8.2.5. *Salmonella sp.* (Presencia – Ausencia): Algunos de los requisitos esenciales para que el crecimiento de la *Salmonella sp* se presente, es: la temperatura debe cumplir un rango entre 35 - 43 °C , el pH debe ser aproximadamente en 7 – 7.5 y la muestra no debe presentar mucha actividad con el agua, ya que si esta es alta está inhibe el crecimiento de los microorganismos. [43]

Válvula	Muestreo	Resultados		
		Agar XLD UFC/g	Agar SS UFC/g	Agar TSI UFC/g
1	3	Ausencia	Ausencia	Ausencia
	4	Ausencia	Ausencia	Ausencia
2	3	Ausencia	Ausencia	Ausencia
	4	Ausencia	Ausencia	Ausencia
3	3	Ausencia	Ausencia	Ausencia
	4	Ausencia	Ausencia	Ausencia
4	3	Ausencia	Ausencia	Ausencia
	4	Ausencia	Ausencia	Ausencia

Tabla 7. Resultados para Análisis de *Salmonella* sp.



Imagen 24. Determinación de *Salmonella* sp en Agar Xilosa-Lisina-Desoxicolato



Imagen 25. Determinación de *Salmonella* sp en Agar Shiguella-Salmonella

Tomando como referencia lo citado por la bibliografía se puede establecer que las condiciones para que se presentara el crecimiento de los lodos, no fueron las más indicadas. Si se observa la Tabla 2.1 correspondiente a los Resultados para Análisis de pH, se evidencia claramente que por lo menos las válvulas 1 y 2, presentan un pH superior a 7.5 y una actividad del agua considerablemente alta, por lo que se establece que una de las condiciones para el crecimiento de dicho microorganismo se está incumpliendo y es de esperar que no se evidencien colonias típicas en los medios de cultivo.

Por otra parte las válvulas 3 y 4, si presentaron el pH indicado para que el crecimiento se pueda dar, sin embargo se logra establecer que las condiciones del reactor no favorecen el crecimiento de la *Salmonella sp.*, debido a que dentro de este la cantidad del agua es suficiente. Es por esto que en ninguna de las válvulas se evidencia el crecimiento, ya que las dos primeras se ven afectadas por el pH de la muestra y la actividad del agua y las dos últimas únicamente por la actividad del agua.

Con la temperatura de la muestra no se presentó ningún problema, ya que esta se somete a procesos de Pre-enriquecimiento, Enriquecimiento y Aislamiento y así va tomando la temperatura que se necesita para la incubación y el crecimiento de la *Salmonella sp.* la cual esta entre 35 y 43°C.

En ninguno de los muestreos realizados se logró observar las características típicas de *Salmonella sp.* (colonias negras), por lo que no fue necesario llevar hasta el Agar TSI (Triple Azucar Hierro), ya que el aislamiento en éste solo se hace necesario de haberse encontrado las colonias típicas. Por el contrario, se observó en ambos muestreos que los medios de cultivo (Agar XLD y Agar SS) viraron su color inicial en algunas ocasiones a amarillo, pero este cambio de color del medio de cultivo no es suficiente para percibir la presencia de la *Salmonella sp.*, ya que se necesita que también se presenten colonias de color negro, de forma esférica y planas. Es por esto que se puede concluir que el microorganismo *Salmonella sp.* está ausente en la muestra analizada.

En el Proyecto de decreto elaborado por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial se menciona que uno de los parámetros microbiológicos a evaluar en los Materiales Biosólidos, es la *Salmonella sp.* Para la clasificación de los Biosólidos según la *Salmonella sp.* el número de este debe ser menor o igual a 3 NMP/g para estar dentro de la Categoría A. Como se muestra en la Tabla 17 correspondiente a los Resultados para el análisis de *Salmonella sp.*, en ninguna de las válvulas se observa que haya presencia de este tipo de microorganismos, por lo que se puede ubicar en una Categoría A. [26]

8.2.6. *Pseudomonas sp.* (Presencia – Ausencia): Morfológicamente son bacilos rectos o ligeramente curvados, móviles mediante flagelos. Tienen fimbrias que les sirven para su adherencia a las células (factor de virulencia). Son microorganismos aeróbicos estrictos. Es común la presencia de plásmidos y no forman esporas. De crecimiento sumamente fácil, son sensibles al calor y a la desecación; motivo por el cual, contamina frecuentemente el agua, los baños, las piletas de natación y diversos equipos que se utilizan en servicios hospitalarios. Su temperatura de crecimiento oscila entre 10° y 42 ° C siendo su temperatura optima 35° C.

Válvula	Muestreo	Resultados
1	4	Presencia
2	4	Presencia
3	4	Presencia
4	4	Presencia

Tabla 8. Resultados para Análisis de *Pseudomonas sp.*



Imagen 26. Determinación de *Pseudomona sp*, Válvula 1

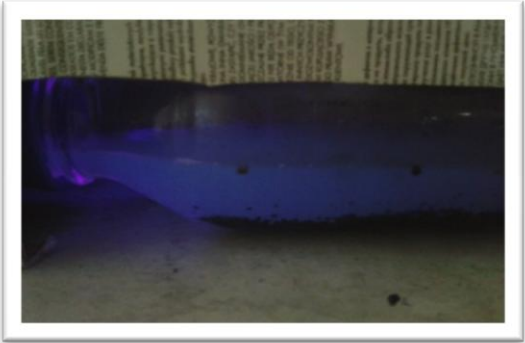


Imagen 27. Determinación de *Pseudomona sp*, Válvula 3

Después de transcurrido el periodo de incubación, se observó que cada una las muestras en todas las válvulas, se presentó fluorescencia la cual puede indicar la presencia de *pseudomona sp.*, esto fue confirmado porque el medio de cultivo utilizado (caldo Asparagina) es selectivo para este tipo de microorganismo. Es así como se toma afirmativa la presencia de dichos microorganismos en las muestras.

8.2.7. Clostridium Sulfito Reductor: Los géneros pertenecientes al género *Clostridium* tienen la característica común de poder reducir el sulfito a sulfuro, los *Clostridium sulfito reductores* se usan en ocasiones como índice de contaminación fecal, sobre todo para apreciar la calidad higiénico – sanitarias del agua y productos animales o de origen animal. Crecen a una temperatura optima de 37°C y un pH en un rango de 7-7.8 de modo que fácilmente son bacterias inactivas a pH de una soluciones ácidas o muy básicas. [44]

Válvula	Muestreo	Resultados		
		Dilución 10 ⁻¹	Dilución 10 ⁻²	Dilución 10 ⁻³
1	4	Presencia	Presencia	Presencia
2	4	Ausencia	Ausencia	Ausencia
3	4	Presencia	Presencia	Presencia
4	4	Presencia	Presencia	Presencia

Tabla 9. Resultados para Análisis de *Clostridium Sulfito Reductor*

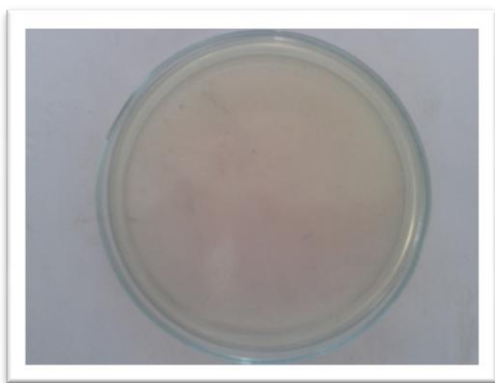


Imagen 28. Determinación de *Clostridium Sulfito Reductor*, Válvula 2, Dilución 10^{-1} . No se evidencian colonias.

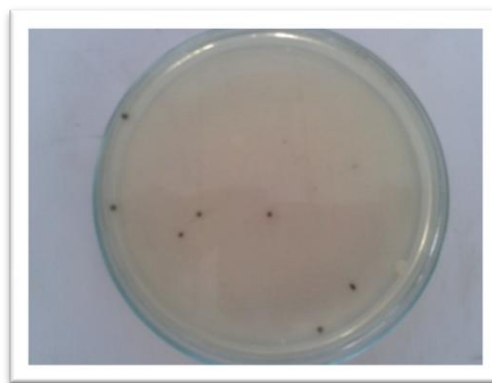


Imagen 29. Determinación de *Clostridium Sulfito Reductor*, Válvula 1, Dilución 10^{-1} . Formación de colonias negras.

Observando los resultados de la Tabla 9, se logra identificar que en las válvulas 1,3 y 4 con sus respectivas diluciones presentan presencia de *Clostridium sulfito reductor*, sin embargo, para la válvula 2 en ninguna de las diluciones se logra observar la presencia del microorganismo. Comparando los datos reportados en la tabla 6 en la cual se analizó la presencia de Coliformes Totales y Fecales, para el caso de la válvula 2 se muestran valores pequeños con relación a los obtenidos para las otras válvulas, lo que podría dar respuesta a la poca presencia de *clostridium Sulfito reductor*, puesto que ésta se utiliza en ocasiones como índice de contaminación fecal y apreciación de calidad higiénica.

Este tipo de microorganismos tienen características anaeróbicas y los lodos que se están caracterizando en este trabajo son provenientes de un reactor anaerobio UASB por lo que el crecimiento es esperado, esto es debido a las condiciones anaeróbicas de dicho reactor.

Como se reporto anteriormente por la bibliografía, el pH óptimo para que se presente crecimiento del *Clostridium sulfito reductor* el rango debe estar entre 7 - 7.8, de esta manera se observa que las condiciones de la muestra favorecen parcialmente el crecimiento de los microorganismos, ya que al tener los resultados de la Tabla 2.1, correspondiente a los Resultados para el análisis de pH, se puede ver que el pH de las muestras está entre 7.2 – 8.2, este se sale del rango optimo de los microorganismos pero en su mayoría están incluidos dentro del reportado por la bibliografía. De esta manera se puede decir que las condiciones de pH, favorecieron el crecimiento de los microorganismos evaluados.

9. ALTERNATIVA PROPUESTA PARA DISPOSICION DE LOS LODOS GENERADOS EN EL TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES

Con el fin de poder dar un valor agregado y disposición final adecuada para los lodos que se generan diariamente en la PTARI de la Empresa, se propone una alternativa que implica un gasto económico pequeño, ya que se necesita acondicionar un área para el tratamiento de los lodos. En la implementación de la alternativa se busca remover la mayor cantidad de carga microbiana posible de los lodos y podrán aportar mejores beneficios a los suelos donde son aplicados, es decir la propuesta será basada en un método natural, la cual es:

- Cuando la acumulación de los lodos se encuentre en su punto máximo, cada día después de terminar el proceso de producción de la Empresa, estos no simplemente se deben depositar en una caneca y luego esparcirlos por las zonas verdes cercanas a la PTARI. La propuesta es que cuando la caneca ya se encuentre lo suficientemente llena los lodos deben ser filtrados para remover al menos en un porcentaje pequeño la carga microbiana con la que salen del reactor, posteriormente se deben enjuagar con Agua destilada preferiblemente para así asegurar que la carga microbiana está siendo removida con éxito. En este momento, los lodos deberán disponerse en estelas y dejarlos secar al sol y al aire libre, es decir, deberán someterse a un proceso de secado simplemente a temperatura ambiente. Este proceso puede durar entre 1 y 2 semanas, para que cuando ya se encuentren completamente secos será mucho más fácil de esparcirlos en los suelos y llevarán un proceso anterior, donde se ha removido la mayor parte de la carga microbiana.

Con el proceso de secado se está reduciendo la cantidad de humedad con la que los lodos salen del reactor, con esta alternativa no se requiere de la adición de sustancias químicas en ningún momento, el proceso se hace teniendo en cuenta las condiciones climáticas preferiblemente días soleados y sin lluvias y sin olvidar que también será muy bueno que esos días la humedad relativa del ambiente se encuentre no muy alta.

Con la alternativa propuesta se destacan varias ventajas que serán útiles en la disposición de los lodos, como lo son:

- No se necesitan equipos especializados
- Los operarios están relacionados con el manejo habitual de los lodos, su única variación será filtrarlos y disponerlos en superficies donde puedan secarse al aire libre.
- No se necesita la adición de sustancias químicas en ninguna parte del proceso.

La única desventaja considerable que se observa es que se necesita de una superficie bastante grande donde se puedan poner los lodos mientras se secan con las condiciones climáticas que se estén presentando por esos días.

La Empresa en la cual se realizó la caracterización de los lodos cuenta con instalaciones lo suficientemente grandes para poder acondicionar una de estas en el secado de los mismos.

Con la implementación de esta alternativa para la disposición de los Biosólidos generados en el proceso del tratamiento de las Aguas Residuales en la Empresa, se podrán de cierta manera obtener varios beneficios: principalmente la aplicación de los mismos en las zonas verdes y otras instalaciones de la Empresa y de Uso externo ya que cuando su producción de lodos sea considerablemente alta, este podrá llegar a ser comercializado como material orgánico o abono.

10. CONCLUSIONES

- Según la clasificación que se da a los Lodos, teniendo como base el Proyecto de Decreto para la Disposición Final de Biosólidos en Colombia, se establece que estos se encuentran en una Categoría B, ya que el contenido de Coliformes Fecales para la muestra es superior a 1000 NMP/g. Teniendo en cuenta esta clasificación se puede concluir que este tipo de materia puede ser utilizada en pastizales para ganadería, plantaciones forestales, recuperación, restauración y/o mejoramiento de suelos degradados, insumo en procesos de elaboración de abonos o fertilizantes orgánicos o productos acondicionadores para suelos, para la remediación de suelos contaminados, insumo en la obtención de materiales de construcción y estabilización de taludes de proyectos de la red vial nacional.
- Según la clasificación de los Lodos en el Proyecto de Decreto para la Disposición Final de Biosólidos en Colombia, estos se encuentran en la categoría B, las restricciones para esta categoría consisten en: forraje para ganado y cultivos de fibra no se podrán cosechar antes de un mes de la última aplicación de los Biosólidos, solo se podrán poner a pastar animales domésticos después de un mes desde la última aplicación de los Biosólidos y en suelos de uso forestal la aplicación de los Biosólidos podrá efectuarse solo si se cuenta con un control de acceso al área durante un mes posterior a la última aplicación del Biosólido.
- Se concluye que el Reactor Anaerobio UASB implementado en el Tratamiento de las Aguas Residuales Industriales de la Empresa, contiene en su interior gran cantidad de carga microbiana, ya que sin importar si la muestra se divide entre lo líquido y lo sólido, los resultados son muy similares, indicando presencia de la gran mayoría de los microorganismos evaluados dentro de los parámetros microbiológicos. Estos resultados permiten evidenciar que a pesar de que los microorganismos analizados en su mayoría presentan características aerobias, presentan la capacidad y facilidad de adaptarse al medio en el que se encuentra el Reactor.
- Sin importar que anteriormente no se habían realizado análisis fisicoquímicos y microbiológicos en los lodos generados en La Empresa, se observa que su calidad es óptima y esto se ve evidenciado cuando los utilizan como material de abono en sus zonas verdes, sin embargo, se debe conocer la cantidad apropiada a aplicar en el terreno para evitar que se puedan quemar por las características que proporcionan los nutrientes que están en contacto continuo alimentando los lodos durante el proceso.

11. RECOMENDACIONES

- Se recomienda que al momento de tomar muestras del Reactor, este no debe haber detenido su actividad en por lo menos tres días, ya que de haber ocurrido esto, la actividad metanogénica del mismo puede incrementar considerablemente y ocasionar que los resultados, especialmente, de los parámetros microbiológicos se vean fuertemente afectados.
- En el Anteproyecto planteado anteriormente del presente trabajo se menciona realizar una metodología pertinente para la determinación de Bacterias Metanogénicas, la cual no se realizó debido a que no fue posible encontrar un protocolo o procedimiento que determinara como tal la presencia o ausencia de las mismas. Los protocolos encontrados, se refieren principalmente a la Actividad Metanogénica y no a la presencia de las Bacterias.
- En el momento de proponer los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos a evaluar, se menciona realizar la determinación de Sólidos Suspendidos Totales, ya que resultan ser muy útiles y característicos de las muestras tratadas, es decir, los lodos o material Biosólido. Este parámetro no fue posible de determinar debido a que en la Escuela de Química, lugar donde nos proporcionan a los estudiantes Reactivos y todo tipo de Materiales para la realización de las pruebas, no se contaba con el suficiente papel filtro de la referencia GFC. Debido a la falta del papel filtro, no fue posible realizar la determinación de los Sólidos Suspendidos Totales.
- Para hacer un análisis adecuado de la muestra, ésta debe separarse en material líquido y material sólido, ya que todo esto conforma la muestra pero si se divide se podrá observar más claramente la carga microbiana contenida en cada uno de los componentes, en este caso Agua y Lodos.
- Se debe realizar la disposición final adecuada ya que según el Proyecto de Decreto para la Disposición Final de Biosólidos en Colombia la materia sometida a análisis, es decir, los lodos, se encuentran en una categoría B y estos pueden traer beneficios posteriores principalmente a los suelos.
- Se recomienda a La Empresa realizar una limpieza frecuentemente (mínimo cada 6 meses) a las tuberías por donde son transportadas las aguas hasta llegar a la Planta de Tratamiento, para así evitar que se presente gran contaminación de éstas y cierto tipo de microorganismos puedan llegar hasta el reactor y tengan la capacidad de adherirse a los lodos.

- Se encuentra importante la sugerencia de realizar análisis microbiológicos no solos en la entrada, salida y tanque ecualizador del reactor sino también propiamente al mismo, es decir, evaluar cada válvula por donde son expulsados los lodos y así poder determinar con un mejor criterio la calidad y perfil de ellos en el tratamiento de aguas.
- La realización de la prueba Sólidos Suspendidos Totales SST no pudo efectuarse debido a varios inconvenientes, pero por parte de la Bacterióloga de la Empresa, los operarios de la PTARI y las encargadas de realizar el trabajo se llega a la conclusión que es una prueba muy importante y para no haberla dejado así se hubiera podido reportar los resultados de la misma prueba realizada cada dos meses por parte del laboratorio externo QuimiControl en la Ciudad de Bogotá.
- Se concluye que el proceso realizado por la Empresa en cuanto al tratamiento de las aguas residuales es realmente efectivo, ya que en un análisis realizado por un laboratorio externo QuimiControl en la Ciudad de Bogotá se evalúa el Perfil de Lodo, el cual consiste en la determinación de Sólidos Suspendidos Totales SST, Sólidos Suspendidos Volátiles SSV y la actividad metanogénica de los lodos, con estos se puede encontrar que el porcentaje de remoción de los lodos es del 98%, bastante bueno y efectivo hablando en términos generales.

12. REFERENCIAS

- [1] Microbiología de los Lodos Activados. Disponible en:
www.priet.unlu.edu.ar/agua%20latin.pdf
- [2] Dominique Bouig. ¿Cuál es el futuro del desarrollo sostenible? Akal, S.A. Madrid, 2005.
- [3] Wulf Christoph – Newton Bryan. Desarrollo Sostenible. Volumen 22. waxxmann Verlag GmbH. Alemania, 2006.
- [4] Determinación de Microorganismos en Lodos activados, Disponible en:
Catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lcf/morales_a_gm/capitulo10.pdf
- [5] Observación macroscópica de Fangos activados, Disponible en:
Upcammons.upc.edu/revistes/bitstream/2099/1726/1/TREBALL8.pdf
- [6] Nuevas aplicaciones de Lodos residuales, Disponible en:
www.uaemex.mx/Red_Ambientales/docs/memorias/Extenso/TA/EO/TAO-67.pdf
- [7] García B, Hugo R. Guía Tecnológica Para el Manejo Integral del Sistema Productivo de La Caña Panelera. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Produmedios. Bogotá, 2007.
- [8] LAPEÑA, Rigola Miguel. Tratamiento de aguas industriales: Aguas de procesos y industriales. Alfa omega – Marcombo, 1989.
- [9] GOMELLA, GUERRER. Tratamiento de aguas para abastecimientos públicos. Etasa, 1977.
- [10] Romero Rojas Jairo Alberto. Tratamiento de aguas residuales, teoría y principios de diseño. Escuela Colombiana de Ingenierías, 2000.
- [11] Seónez, Calvo Mariano. Angulo, Aguado Irene. Aguas residuales urbanas: Tratamientos naturales de bajo costo y aprovechamiento. Mundi prensa libros S.A, 1995.
- [12] NALCO. Manual del agua. Su naturaleza, tratamiento y aplicaciones. Mc Graw – Hill, 1979.
- [13] Degremont. Manual técnico del agua. 1979.
- [14] METCALF & EDDY. Ingeniería sanitaria. Tratamiento, evacuación y reutilización de aguas residuales. Labor, 1985.
- [15] Weber, W. Control de calidad del agua: Procesos fisicoquímicos. Reverté, 1979.
- [16] Prieto, Bolívar Jaime Carlos. El Agua: sus formas, efectos, abastecimientos, usos, daños, control y conservación. ECOE – Ediciones, 2004.

[17] The American Water Works Association, INC. Control de la calidad y tratamiento del agua. Madrid, 1975.

[18] Nordell, Eskel. Tratamiento del agua para la industria y otros usos. Continental, 1965.

[19] Winkler, M. Tratamiento biológico de Aguas de Desecho. Editor José O. Valderrama, Centro de información tecnológica. Año 15, edición 86.

[20] M. MAHAMUD. A. GUTIÉRREZ y H. SASTRE. Biosólidos generados en la depuración de aguas: (II). Métodos de Tratamiento. Ingeniería del Agua, Vol. 3, Núm. 3, 1996.

[21] Clesceri Leone S, Greenberg Arnold E, Eaton Andrew D. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20th Edition.

[22] Montoya Navarrete, Carlos Humberto. Manual de Laboratorio de Análisis de Alimentos. Universidad Tecnológica de Pereira, Facultad de Tecnologías, Programa de Tecnología Química, 2011.

[23] Ramírez Aristizábal, Luz Stella. Manual de Microbiología. Universidad Tecnológica de Pereira, Facultad de Tecnologías, Escuela de Química.

[24] Hilleboe, Hernán E. Departamento de sanidad de estado de Nueva York. Manual de tratamiento de aguas. Limusa, 1995.

[25] Enviromental Protection Agency – EPA

[26] Proyecto de Decreto por parte del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial para la Disposición final de biosólidos, 2010. Disponible en:

www.andi.com.co/Archivos/file/Gerambiental/proyectosnormativos2010/PROYECTOBIOSOLIDOS.pdf

[27] INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Productos para la Industria Agrícola, Productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y enmiendas de suelo, ICONTEC, 2004. (NTC - 5167)

[28] Gaviria Trujillo Luis Fernando, CARDER. Tratamiento de Aguas Residuales: Una necesidad inaplazable. Ministerio del Medio Ambiente, Santa Fe de Bogotá, 1998.

[29] Nemerón. Aguas residuales industriales. Blume, 1977.

[30] Rámila Garrido, Javiera Ignacia. Rojas, Brockway Sebastián Ignacio. Alternativas de uso y disposición de Biosólidos y su impacto en las tarifas de Agua. Santiago, Agosto 2008. Seminario (Ingeniería comercia mención administración) Universidad de Chile, Facultad de Economía y Negocios, Escuela de Economía y Administración. Disponible en:

[http:// www.tesis.uchile.cl/tesis/uchile/ramila_j/sources/ramila_j.pdf](http://www.tesis.uchile.cl/tesis/uchile/ramila_j/sources/ramila_j.pdf)

[31] METCALF & EDDY. Tratamiento y depuración de las aguas residuales. Labor, 1977.

[32] Fundamentos para la caracterización de las Aguas, Disponible en:
www.ingenieriasanitaria.com/pdf/cap7.pdf

[33] Sierra Jorge Humberto. Análisis de Aguas y Aguas. Universidad de Antioquia. Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Sanitaria

[34] NAVARRO N., Cristián Rodrigo. 2007. Evaluación de la Potencialidad del uso de Biosólidos originados en las Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas en la fabricación de ladrillos. En: Revista Residuos Bilbao. Editor, Reed Business Information S.A, 2008.

[35] Daguér G, Gian Paolo. Gestión de Biosólidos en Colombia. Congreso Internacional de Acodas, 2003.

[36] OCHOA, Adriana. Efecto de la aplicación de biosólidos como enmienda orgánica en la recuperación de un suelo disturbado por actividad extractiva en la Cantera de Soratama, localidad de Usaquén, Bogotá, 2007. Universitas Scientiarum, Revista de la facultad de ciencias. Edición especial II, volumen 12. Pontifica Universidad Javeriana. Disponible en:

[http:// Redalyc.uaemex.mx/pdf/499/499122008.pdf](http://Redalyc.uaemex.mx/pdf/499/499122008.pdf)

[37] Decreto 3930 de 2010: Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 9a de 1989, así como el Capítulo II del Título VI – Parte III – Libro II del Decreto-Ley 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos y se dictan otras disposiciones.

[38] Decreto 4728 de 2010: Por el cual se modifica parcialmente el Decreto 3930 de 2010.

[39] Demanda Química de Oxígeno por reflujo cerrado y volumetría. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial – Republica de Colombia. Diciembre, 2007.

[40] Demanda Bioquímica de Oxígeno - 5 días. INCUBACIÓN Y ELECTROMETRÍA. . Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial – Republica de Colombia. Diciembre, 2007.

[41] Decreto 1594 de 1984 por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 09 de 1979, así como el Capítulo II del Título VI - Parte III - Libro II y el Título III de la Parte III Libro I del Decreto 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos.

[42] Análisis de Microorganismos Aerobios Mesófilos, Disponible en:

[www.analizacalidad.com/docftp/fi189arm2004-4\(2\).pdf](http://www.analizacalidad.com/docftp/fi189arm2004-4(2).pdf)

[43] Indicadores microbiológicos de contaminación de las fuentes de agua, Disponible en:
www.unicolmayor.edu.co/invest_nova/NOVA/ARTREVIS2_4.pdf

[44] Dr. ROBERTO E. RODRIGUEZ. Microbiología de las aguas residuales aplicación de Biosólidos en el suelo. Procesos fundamentales fisicoquímicos y microbiológicos. Universidad Tecnológica nacional. Editorial de la Universidad Tecnológica Nacional, 2009.

13. ANEXOS

1. Tabla de NMP (Número más probable) usando tres tubos por dilución

TABLA DE NMP USANDO TRES TUBOS POR DILUCION			
NUMERO DE TUBOS POSITIVOS			NMP/g o ml
TRES TUBOS 10 ⁻¹	TRES TUBOS 10 ⁻²	TRES TUBOS 10 ⁻³	
0	0	0	< 3
0	0	1	3
0	0	2	6
0	0	3	9
0	1	0	3
0	1	1	6
0	1	2	9
0	1	3	12
0	2	0	6
0	2	1	9
0	2	2	12
0	2	3	16
0	3	0	9
0	3	1	13
0	3	2	16
0	3	3	19
1	0	0	4
1	0	1	7
1	0	2	11
1	0	3	15
1	1	0	7
1	1	1	11
1	1	2	15
1	1	3	19
1	2	0	11
1	2	1	15
1	2	2	20
1	2	3	24
1	3	0	16
1	3	1	20
1	3	2	24
1	3	3	29
2	0	0	9
2	0	1	14
2	0	2	20
2	0	3	26
2	1	0	15
2	1	1	20
2	1	2	27
2	1	3	34
2	2	0	21
2	2	1	28
2	2	2	35
2	2	3	42
2	3	0	29
2	3	1	36
2	3	2	44
2	3	3	53
3	0	0	23
3	0	1	39
3	0	2	64
3	0	3	95
3	1	0	43
3	1	1	75
3	1	2	120
3	1	3	160
3	2	0	93
3	2	1	150
3	2	2	210
3	2	3	290
3	3	0	240
3	3	1	460
3	3	2	1.100
3	3	3	> 1.100

2. Tablas de Resultados

2.1 Resultados para la prueba de pH

Válvula	Muestreo	Temperatura °C	Resultado (Unidades de pH)	Promedio	Desviación Estándar
1	1	23.8	8.13	8.26	0.1023
	2	23.8	8.27		
	3	23.8	8.38		
2	1	24.2	7.50	7.54	0.0374
	2	24.2	7.53		
	3	24.2	7.59		
3	1	21.4	7.30	7.30	0.014
	2	21.4	7.16		
	3	21.4	7.45		
4	1	23.2	7.23	7.20	0.004
	2	23.2	7.11		
	3	23.2	7.27		

2.2 Resultados para la prueba de alcalinidad

Válvula	Muestreo	Resultados (meq/L)	Promedio	Desviación Estándar
1	1	36.2	37.26	0.899
	2	38.4		
	3	37.2		
2	1	33.86	34.22	1.171
	2	35.8		
	3	33		
3	1	35.46	33.42	2.178
	2	34.4		
	3	30.4		
4	1	34.4	32.13	2.792
	2	33.8		
	3	28.2		

2.3. Resultados para la prueba de acidez

Válvula	Muestreo	Resultado (meq/L)	Promedio	Desviación Estándar
1	1	2.4	2.74	0.249
	2	3		
	3	2.8		
2	1	1.6	2.06	0.340
	2	2.2		
	3	2.4		
3	1	0.96	1.32	0.353
	2	1.2		
	3	1.8		
4	1	0.6	0.67	0.094
	2	0.8		
	3	0.6		

2.4. Resultados para la prueba de humedad

Válvula	Muestreo	Resultados (%)	Promedio	Desviación Estándar
1	1	3.50	3.88	0.302
	2	3.91		
	3	4.24		
2	1	3.24	3.49	0.222
	2	3.45		
	3	3.78		
3	1	3.57	3.60	0.234
	2	3.91		
	3	3.34		
4	1	0.26	0.99	0.541
	2	1.17		
	3	1.55		

2.5. Resultados para la prueba de cenizas

Válvula	Muestreo	Resultados (%)	Promedio	Desviación Estándar
1	1	0.24	0.17	0.050
	2	0.12		
	3	0.15		
2	1	0.17	0.15	0.011
	2	0.15		
	3	0.15		
3	1	0.1	0.07	0.052
	2	0.1		
	3	0.009		
4	1	0.07	0.05	0.014
	2	0.06		
	3	0.04		

2.6. Resultados para la prueba de Demanda Química de Oxígeno

Válvula	Muestreo	Resultados (meq/L)	Promedio	Desviación Estándar
1	2	1734.4	1599.5	321.26
	2	1156.26		
	3	1907.84		
2	2	693.76	809.38	227.61
	2	607.04		
	3	1127.36		
3	2	925.01	915.37	389.49
	2	433.6		
	3	1387.52		
4	2	346.88	838.29	820.66
	2	173.44		
	3	1994.56		

2.7. Resultados para la prueba de Demanda Biológica de Oxígeno

Válvula	Dilución mL	Resultados mg O ₂ / L	Promedio	Desviación Estándar
1	15	99.8	63.13	28.674
	25	59.8		
	50	29.8		
2	15	73.0	57.5	17.846
	25	67.0		
	50	32.5		
3	15	113.4	69.2	33.719
	25	62.6		
	50	31.6		
4	15	81.6	60.2	21.265
	25	67.8		
	50	31.2		

2.8. Resultados para la medición de Oxígeno disuelto inicial y Oxígeno disuelto residual.

Válvula	Dilución mL	ODi	ODr
Blanco		5.65	5.24
1	15	5.65	0.25
	25	5.60	0.20
	50	5.13	0.16
2	15	5.79	1.73
	25	5.77	0.18
	50	5.56	0.14
3	15	5.80	0.13
	25	5.74	0.11
	50	5.42	0.14
4	15	5.82	1.74
	25	5.80	0.16
	50	5.73	0.11

2.9 Resultados para la prueba de Microorganismos Mesófilos Aerobios

Válvula	Muestreo	Resultados		
		Dilución 10^{-1} UFC/g	Dilución 10^{-2} UFC/g	Dilución 10^{-3} UFC/g
1	2	167	99	8
	3	180	114	10
	4	Inc	Inc	Inc
	5	Inc	89	33
2	2	130	166	5
	3	122	89	12
	4	Inc	Inc	Inc
	5	Inc	82	24
3	2	94	123	8
	3	135	100	9
	4	Inc	Inc	Inc
	5	Inc	115	31
4	2	139	95	16
	3	91	82	7
	4	Inc	Inc	Inc
	5	Inc	63	30

2.10 Resultados para la prueba de Mohos y Levaduras

Válvula	Muestreo	Resultados		
		Dilución 10^{-1} UFC/g	Dilución 10^{-2} UFC/g	Dilución 10^{-3} UFC/g
1	2	22	2	1
	3	22	3	0
	4	Inc	2	1
	5	237	136	96
2	2	25	1	0
	3	32	3	1
	4	35	6	1
	5	295	270	50
3	2	20	1	0
	3	29	6	1
	4	24	4	1
	5	Inc	289	103
4	2	10	2	0
	3	25	10	2
	4	Inc	4	1
	5	289	205	84

3. Preparación de Medios de Cultivo

Medios de Cultivo	Casa comercial	Presentación	Cantidad para preparar 500mL
Agar Plate Count	Oxoid	Polvo – 500g	11.75g
Agar Papa Dextrosa	Oxoid	Polvo – 500g	19.5g
Agar Rosa De Bengala	Scharlau	Polvo – 500g	16g
Agar Shiguella Salmonella	Oxoid	Polvo – 500g	28.5g
Agar Triple Azucar Hierro	Oxoid	Polvo – 500g	32.1
Agar Triptona Sulfato Neomicina	Oxoid	Polvo – 500g	45g
Agar Xilosa Lisina Desoxicolato	Oxoid	Polvo – 500g	26.5g
Agua Peptonada Estéril	Merk	Polvo – 500g	0.5g
Caldo Asparagina	Oxoid	Polvo – 500g	13g
Caldo Lactosado	Oxoid	Polvo – 500g	6.5g
Caldo Sulfato De Lauril	Merk	Polvo – 500g	18.25g
Caldo Selenito Cistina	Oxoid	Polvo – 500g	8.5g

